11

Analoge rekenkundige schakelingen

Inhoud

■/■■ reeds gepubliceerd
■/■■ gepland voor de volgende aanvullingen

Deel 11: Analoge rekenkundige schakelingen

11/1

Logaritmische versterkers

Inhoud

11/1.1

Achtergrond-informatie

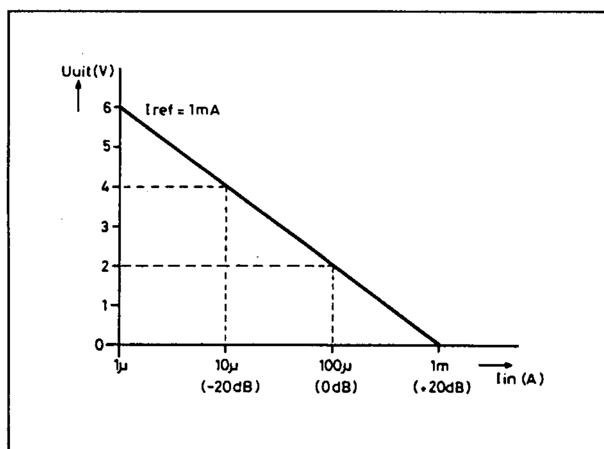
Inleiding

Logaritmische versterkers zijn schakelingen waarbij het verband tussen de ingangs-grootheid en de uitgangs-grootheid in principe voldoet aan de volgende formule:

$$UIT = K \cdot \log_{10}\left(\frac{IN}{REF}\right)$$

De uitgangs-grootheid UIT is gelijk aan de logaritme met grondtal 10 van de verhouding tussen de ingangs-grootheid IN en een bepaalde referentie-grootheid REF, vermenigvuldigd met een bepaalde constante schaalfactor K.

Als de ingangs-grootheid een stroom zou zijn en de uitgangsgrootheid een spanning, dan zou de transfer-karakteristiek van een logaritmische versterker getekend kunnen worden volgens figuur 11/1.1-1.



Figuur 11/1.1-1: Het verband tussen de ingangsstroom en de uitgangs-spanning bij een logaritmische omzetter.

Als de ingangs-grootheid over een factor 10 varieert, bijvoorbeeld van 10 µA naar 100 µA, dan zal de uitgangsspanning verdubbelen. Als de ingangs-grootheid gelijk wordt aan de waarde van de referentie (1 mA in dit voorbeeld), dan zal de uitgangs-grootheid gelijk zijn aan nul.

Toepassingen

Logaritmische versterkers – in feite zou men beter kunnen spreken van logaritmische omvormers, van versterken in de strikte betekenis van het woord is in feite geen sprake – kunnen in de volgende schakelingen toegepast worden.

1 - Digitale dB-meters worden tegenwoordig veel gebruikt in de analoge versterkers-techniek. De decibel is een getal dat de logaritmische verhouding weergeeft tussen een uitgangs-spanning en een ingangs-spanning of tussen een uitgangs-vermogen en een ingangs-vermogen. Als beide grootheden aan elkaar gelijk zijn dan is de versterking van de schakeling, uitgedrukt in dB, gelijk aan 0. Digitale dB-meters hebben dus een logaritmische omvormer nodig, die de logaritmische verhouding berekent tussen de uitgang en de ingang.

2 - Functie-generatoren van het betere soort beschikken over een sweep-mogelijkheid. Door bijvoorbeeld de stuurspanning van de functie-generator langzaam tussen 10 mV en 10 V te laten variëren

1.1 Achtergrond-informatie

zal de uitgangsfrequentie van de generator langzaam het volledige gebied tussen 20 Hz en 20 kHz doorlopen. Het volledige nuttige frequentiegebied van een audio-schakeling wordt automatisch doorlopen en men kan de resultaten van de meting onder de vorm van een 'versterking in functie van de frequentie'-plaatje op het scherm van een geheugen-oscilloscoop schrijven. De versterking wordt bij dit soort doorlaatbandgrafieken steeds uitgedrukt in dB, gerefereerd naar een standaard-versterking bij 1 kHz. Voor het schrijven van de vertikale versterkings-as heeft men dus een logaritmische omvormer nodig. Maar wat meer is, ook de frequentie-as heeft een logaritmische indeling. De sweepspanning moet dus het volledige gebied tussen 10 mV en 10 V niet lineair doorlopen, maar logaritmisch. Een tweede logaritmische omvormer is noodzakelijk om de lineaire uitgangsspanning van de sweep-generator om te zetten in een logaritmisch variërende spanning.

3 - In de studio-techniek maakt men tegenwoordig steeds vaker gebruik van digitaal gestuurde meng- en regeltafels. Alle instellingen voor ieder deel-opname worden in een computer opgeslagen, zodat het reproduceren van een opname-sessie zonder problemen mogelijk is. Bij dit soort apparatuur heeft men digitaal gestuurde logaritmische omvormers nodig, waarbij de versterking of verzwakking van een trap digitaal in dB instelbaar is. Iedere code-verandering op de digitale stuurlijnen met één last significant bit komt dan bijvoorbeeld overeen met een versterkings-toename of -afname van 0,1 dB. Door Analog Devices worden daarvoor speciale schakelingen op de markt gebracht, de zogenaamde LOG-DAC's.

4 - Bij ingewikkelde regel-schakelingen moet men vaak het product of quotiënt van twee analoge regel-signalen berekenen of een bepaald signaal kwadrateren of tot een andere macht verheffen. Hoewel het uiteraard in principe mogelijk is dit soort bewerkingen met een computer uit te voeren komt daar nogal wat elektronica bij kijken. Alle regel-signalen moeten eerst gedigitaliseerd worden alvorens zij in de computer ingelezen kunnen worden. Na het uitvoeren van de gewenste rekenkundige bewerkingen moeten de resultaten weer uit de computer worden gevoerd en omgezet in analoge signalen.
De basis-bewerkingen vermenigvuldigen, delen, worteltrekken en tot een macht verheffen kunnen volledig analoog vrij nauwkeurig en snel worden uitgevoerd met combinatie-schakelingen van logaritmische omzetters, operationele mengversterkers en invertoren.
Al deze schakelingen werken met de omzettings-formules:

$$\log x \cdot y = \log x + \log y$$

en

$$\log \frac{x}{y} = \log x - \log y$$

Vermenigvuldigen en delen wordt omgezet in het sommeren van logaritmische waarden, iets waar mengversterkers geen problemen mee hebben!

Het basis-principe van de logaritmische omzetter

Alle logaritmische versterkers zijn gebaseerd op de fysische wet die zegt dat er een logaritmisch verband bestaat tussen de basis-emitter spanning van een geleidende transistor en de collector-stroom. Als de collector-stroom met een factor 10 varieert – men zegt 'decadisch' varieert – dan zal de basisemitter spanning met een constant aantal mV stijgen of dalen. Dit logaritmisch verband bestaat over een vrij groot gebied van de stroom. Of de stroom nu stijgt van 10 nA naar 100 nA of van 1 mA naar 10 mA, de stijging van de basis-emitter spanning zal in beide gevallen even groot zijn.

1.1 Achtergrond-informatie

In formule-vorm kan men dit verband schrijven als:

$$U_{BE} = K \cdot \log_{10}\left(\frac{I_C}{I_0}\right)$$

waarbij I_0 de lekstroom van de transistor is en K een tamelijk ingewikkeld samengestelde negatieve constante factor, waarin een heleboel fysische parameters van de transistor verwerkt zijn.

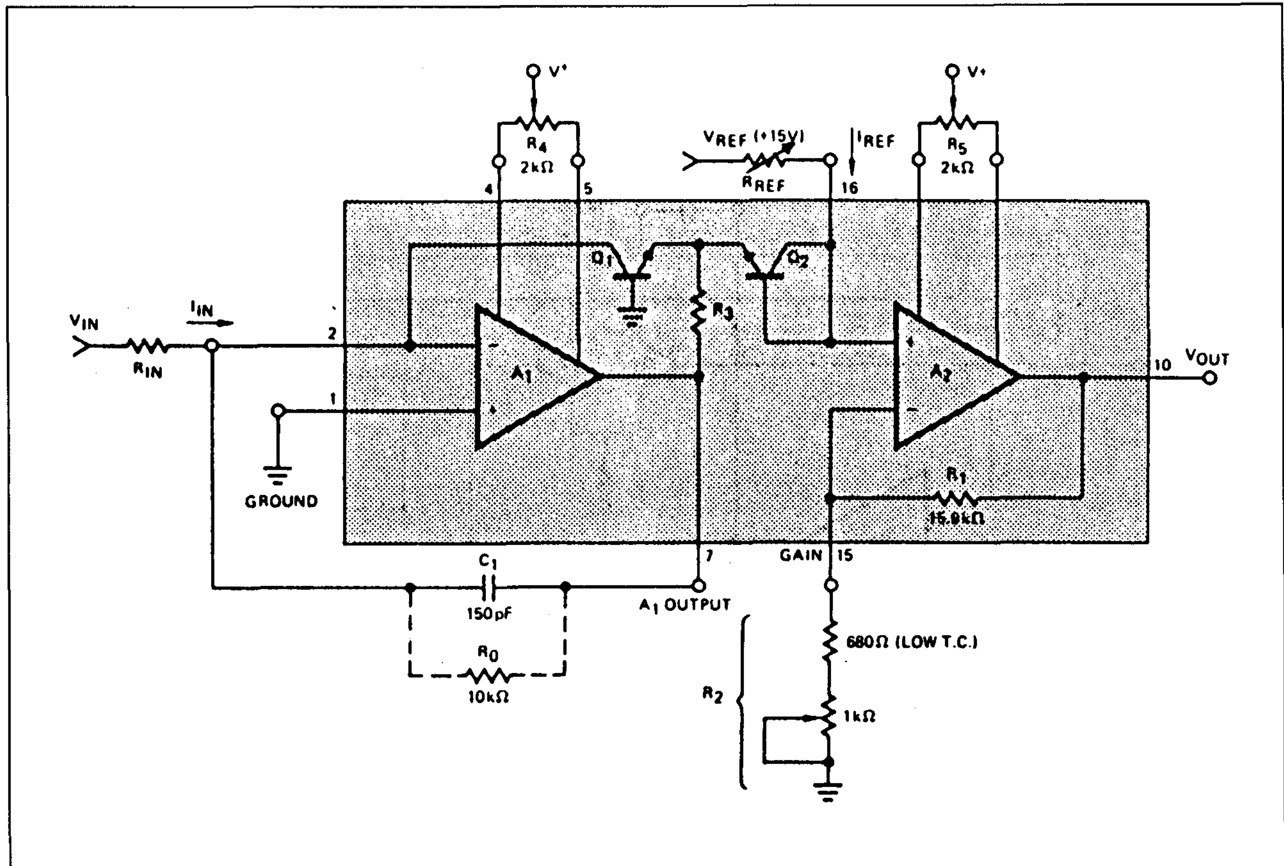
Het probleem is echter dat de spanningsvariatie in U_{BE} gesuperponeerd is op de geleidingsspanning van de transistor. Deze bedraagt bij normale omgevings-temperaturen ongeveer 0,65 V en per decade stroom-variatie zal de basis-emitter spanning met slechts ongeveer 60 mV stijgen of dalen. Op de een of andere manier zal men dus de nuttige spanning uit de geleidingsspanning moeten filteren.

Tweede probleem is dat de basis-emitter spanning van een geleidende transistor zeer temperatuur-gevoelig is. De temperatuurscoëfficiënt bedraagt – 2 mV/°C, een waarde die zeer zeker niet te verwaarlozen is ten opzichte van de 60 mV variatie per decade stroom-variatie.

Het praktische basis-schema

Beide genoemde problemen kunnen opgelost worden door de schakeling van figuur 11/1.1-2 toe te passen.

Er worden twee identieke transistoren Q1 en Q2 ingeschakeld. Deze zitten op een en dezelfde chip geïntegreerd en hebben dus niet alleen precies dezelfde fysische eigenschappen maar staan ook op dezelfde tem-



Figuur 11/1.1-2: Het basis-schema van een logaritmische versterker.

1.1 Achtergrond-informatie

peratuur. De eerste transistor Q1 wordt doorlopen door de ingangsstroom I_{IN}, de tweede door een instelbare referentie-stroom I_{REF}.
De twee basis-emitter overgangen van de transistoren zijn in serie geschakeld. De basis van de eerste ligt aan de massa. Op de niet-inverterende ingang van de tweede operationele versterker A2 staat dus het spanningsverschil tussen de U_{BE}'s van beide transistoren.
Op deze manier wordt de invloed van de temperatuur uitgeschakeld. De grootheid werkt immers op beide transistoren op dezelfde manier in en doordat de twee basis-emitter overgangen in anti-serie staan zal de temperatuurs-coëfficiënt van de ene deze van de tweede compenseren. Hetzelfde geldt voor de geleidingsspanningen, die voor beide transistoren even groot zijn (in de veronderstelling dat de collector-stromen identiek zijn) en dus ook niet terug te vinden zijn op de ingang van A2.
De spanning op de ingang van deze versterker wordt dus alleen bepaald door de logaritmische verhouding van I_{IN} tot I_{REF}! Aan de hand van de vorige formule kan men berekenen dat deze ingangsspanning gegeven wordt door de uitdrukking:

$$\Delta U_{BE} = K \cdot \log_{10} \left(\frac{I_{IN}}{I_{REF}} \right)$$

De eerste versterker A1 wordt gebruikt voor het instellen van de transistoren via weerstand R3. Zijn voornaamste taak is ervoor zorgen dat de transistoren blijven geleiden, want zonder geleidende transistoren is er van het genoemde logaritmische verband tussen stroom en spanning uiteraard geen sprake!
De tweede versterker A2 is geschakeld als niet-inverterende versterker, waarvan de versterking wordt bepaald door de weerstanden R1 en R2.

De uitgangsspanning van de schakeling wordt bijgevolg gegeven door de formule:

$$U_{UIT} = K \cdot \left(\frac{R1 + R2}{R2} \right) \cdot \log_{10} \left(\frac{I_{IN}}{I_{REF}} \right)$$

Omdat de factor K negatief is zal de uitgangsspanning dalen als de ingangsstroom toeneemt.

Afregeling van een logaritmische versterker

De basis-schakeling van figuur 11/1.1-2 heeft niet minder dan vier instelpotentiometers, die alle vier een zeer wezenlijke rol spelen bij het optimaliseren van de nauwkeurigheid van de schakeling.
Een korte samenvatting van de functie van deze onderdelen.

- R_{REF} bepaalt de waarde van de referentiestroom en wordt gebruikt voor het instellen van het gewenste nulpunt op de logaritmische schaal. Als men bijvoorbeeld wil dat de uitgangsspanning van de schakeling nul volt is bij een ingangsstroom van 0,775 mA, dan moet men met R_{REF} de referentie-stroom instellen op precies 0,775 mA. Deze waarde is niet willekeurig gekozen, in de laagfrequent techniek gebruikt men vaak een ingangsspanning van 0,775 V als nulpunt van de dB-schaal.
- R2 stelt de omzettings-factor van de schakeling in. Wil men bijvoorbeeld dat de uitgangsspanning 1 V varieert per decadische variatie van de ingangsstroom, dan kan men dit zo instellen door het variëren van de waarde van R2 en dus de versterkingsfactor van de operationele versterker.
- Met R4 wordt de offset-spanning van de eerste versterker gecompenseerd. Door de uitgang van deze versterker (pen 7) via een weerstand van 10 kΩ tijdelijk te verbinden met de ingang wordt de schakeling ingesteld als inverterende versterker met een versterking van −1. Als men de ingang kortsluit met de massa kan men de offset van A1 wegregelen. Verdraai de loper van R4 tot op de uitgang pen 7 0 V staat.
- Met R5 kan men de offset van de eindversterker compenseren. Als I_{IN} gelijk wordt gemaakt aan I_{REF} moet de uitgangsspanning nul zijn. Verdraai de loper van R5 tot dit inderdaad het geval is.

1.1 Achtergrond-informatie

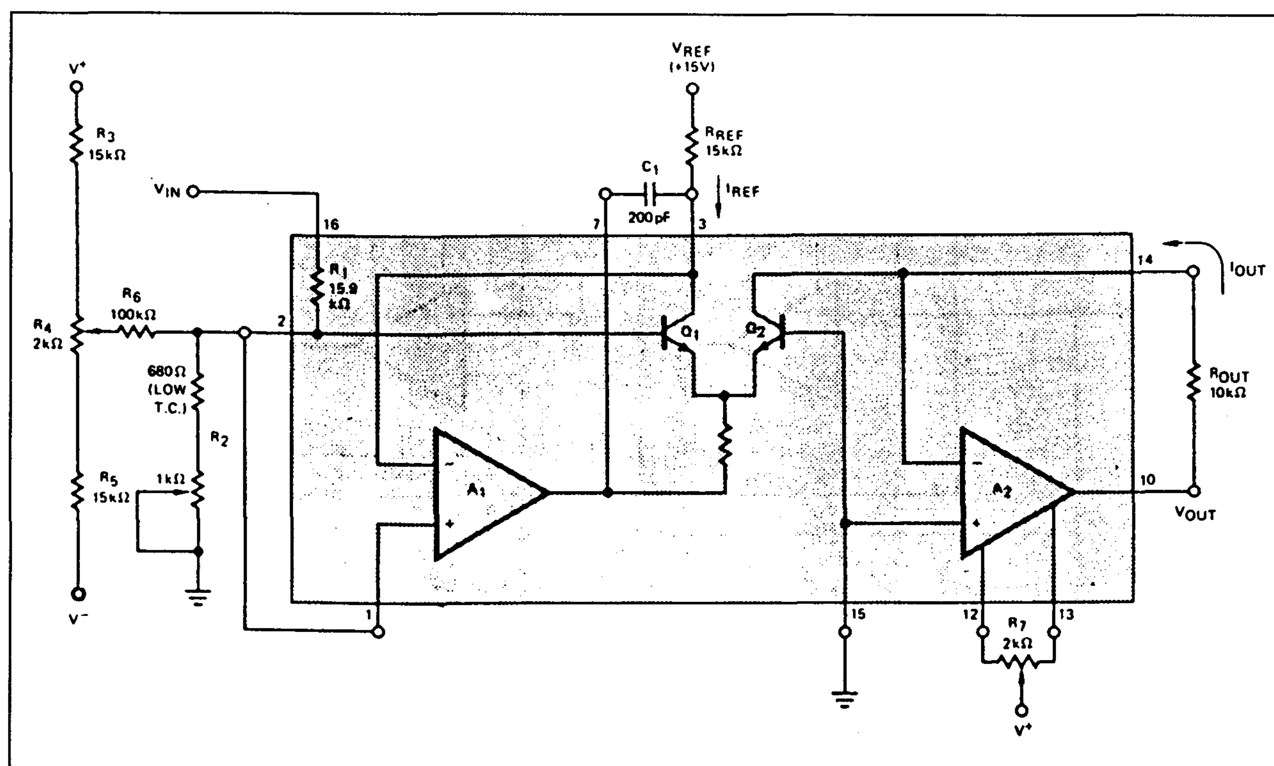
De anti-logaritmische versterker

Sommige schakelingen werken niet met een logaritmisch verband tussen de uitgang en de ingang, maar met een exponentieel verband. Men noemt deze anti-log of LOG^{-1} versterkers. De basis-schakeling van een typische anti-log versterker is getekend in figuur 11/1.1-3. In wezen werkt deze op dezelfde manier als de logaritmische broeder.

Het verband tussen de uitgangsspanning en de ingangsspanning wordt nu echter gegeven door de uitdrukking:

$$U_{UIT} = K1 \cdot I_{REF} \exp (K_2 \cdot U_{IN})$$

waarin de factor na de exp staat voor de macht waarnaar men I_{REF} moet verheffen.



Figuur 11/1.1-3: Het basis-schema van een anti-log versterker.

1.1 Achtergrond-informatie

11/1.2

Type-beschrijving

LH 0094x

3 × LOG + 1 × ANTILOG (0 → +10 V)

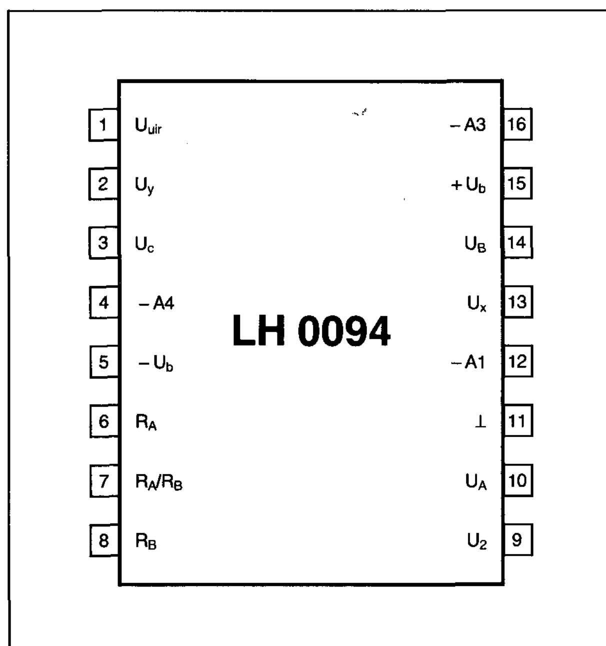
Deze zogenaamde 'multi-function convertor' bevat alle schakelingen die nodig zijn voor het uitvoeren van de wiskundige bewerkingen op drie spanningen:
- a × b;
- a / b;
- a^2;
- $\sqrt{a}$
- a^m.

De schakeling heeft drie ingangen en een uitgang, waarbij het verband tussen deze signalen door middel van een algemene formule als volgt kan worden samengevat:

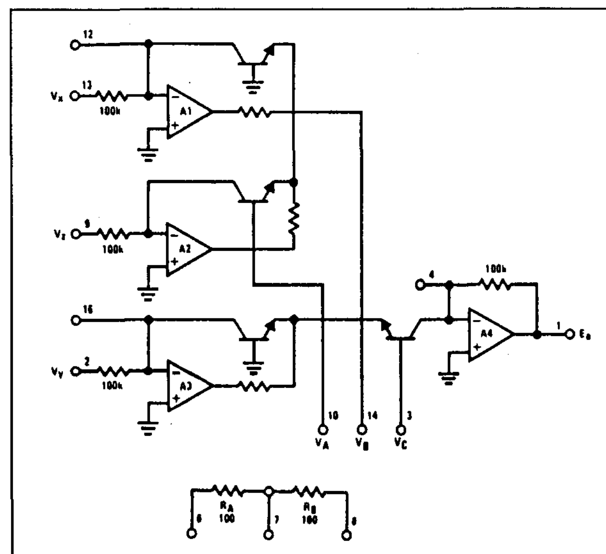
$$U_{UIT} = U_y \cdot \left(\frac{U_z}{U_x}\right)^m$$

waarbij de drie ingangsspanningen **positief** moeten zijn en de factor m kan liggen tussen 0,1 en 10.
Deze factor m wordt bepaald door de waarde van twee weerstanden. Op de chip zijn twee identieke nauwkeurige weerstanden geïntegreerd die voor dit doel gebruikt kunnen worden.
De x achter het type-nummer is een nauwkeurigheidscode.

Technische gegevens
- fabrikant: National Semiconductor
- behuizing: DIL-16
- aansluitgegevens: figuur 11/1.2-1
- intern blokschema: figuur 11/1.2-2



Figuur 11/1.2-1: Aansluitgegevens van de LH 0094.



Figuur 11/1.2-2: Intern blokschema van de LH 0094.

1.2 Type-beschrijving

Parameter	Conditions	LH0094			LH0094C			Units
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Accuracy								
Multiply	$E_O = V_zV_y$ $(0.03 \leq V_y \leq 10V; 0.01 \leq V_z \leq 10V)$							% F.S.
Untrimmed	(Figure 2)		0.25	0.45		0.45	0.9	(10V)
External Trim	(Figure 3)		0.10			0.1		% F.S.
	vs. Temperature		0.2			0.2		mV/°C
Divide	$E_O = 10V_z/V_x$							
Untrimmed	(Figure 4) $0.5 \leq V_x \leq 10; 0.01 \leq V_z \leq 10)$		0.25	0.45		0.45	0.9	% F.S.
External Trim	(Figure 5), $(0.1 \leq V_x \leq 10; 0.01 \leq V_z \leq 10)$		0.10			0.1		% F.S.
	vs. Temperature		0.2			0.2		mV/°C
Square Root	$E_O = 10\sqrt{V_z/10}$							
Untrimmed	(Figure 8), $(0.03 \leq V_z \leq 10$		0.25	0.45		0.45	0.9	% F.S.
External Trim	(Figure 9), $(0.01 \leq V_z \leq 10$		0.15			0.15		% F.S.
Square	$E_O = 10\,(V_z/10)^2\ (0.1 \leq V_z \leq 10)$							
Untrimmed	(Figure 6)	0.5	1.0		1.0	2.0	% F.S.	
External Trim	(Figure 7)	0.15			0.15		% F.S.	
Low Level Square Root	$E_O = \sqrt{10V_z}$; $5.0\,mV \leq V_z \leq 10V$ (Figure 10)		0.05			0.05		% F.S.
Exponential	$m = 0.2$, $E_O = 10\,(V_z/10)^2$ (Figure 11), $(0.1 \leq V_z \leq 10)$		0.05			0.08		% F.S.
Circuits	$m = 5.0$, $E_O = 10\,(V_z/10)^5$ (Figure 11), $(1.0 \leq V_z \leq 10)$		0.05			0.08		% F.S.

Figuur 11/1.2-3: Fouten bij de verschillende basisschakelingen voor de twee versies van de LH 0094.

- voedingsspanning: +/− 5 V min.
  +/− 15 V typisch
  +/− 22 V max.
- ingangsparameters:
  - spanningen: 0 → +10 V max.
  - impedanties: 100 kΩ typisch
- uitgangsparameters:
  - spanning: 12 V max.
  - impedantie: 1,0 Ω typisch
  - offset: 5,0 mV max (LH 0094)
    10 mV max (LH 0094 C)
- dynamische parameters:
  - 3 dB bandbreedte: 10 kHz
  - ruis-spanning: 300 μV max.
- nauwkeurigheid bij de verschillende bewerkingen: figuur 11/1.2-3.
- interne schalings-weerstanden:
  100 Ω +/− 10 %, onderling gelijk binnen 0,1 %
- temp.-bereik:
  −25 tot +85 °C (LM 0094 C)
  −55 tot +125°C (LM 0094 CD)

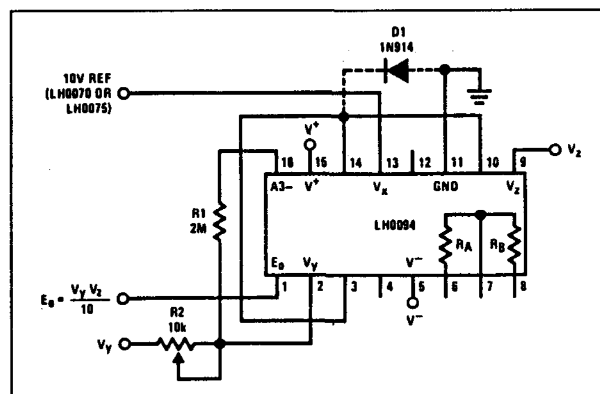
Opmerking

In de volgende voorbeeld-schakelingen wordt steeds een gestippelde diode getekend tussen twee pennen van het IC. Deze diode wordt aanbevolen als de kans bestaat dat er negatieve spanningen op de ingangen kunnen verschijnen of als de ingangen open kunnen blijven.

Voorbeeld-schakelingen

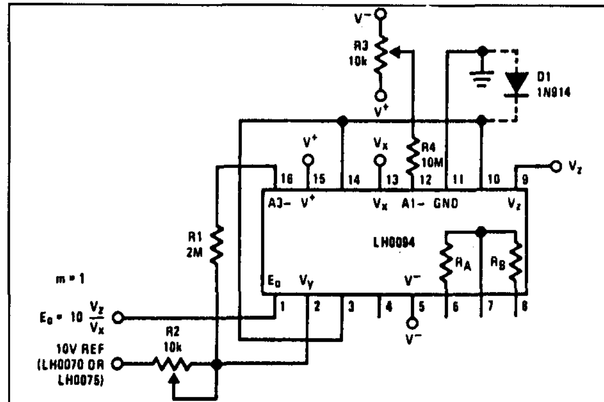
- figuur 11/1.2-4:

Nauwkeurige vermenigvuldiger die na afregeling een gemiddelde fout geeft van 0,02% over het volledige bereik.
Afregelen: zet VZ en VY op 10,0 V, regel R2 tot op de uitgang 10,000 V staat.

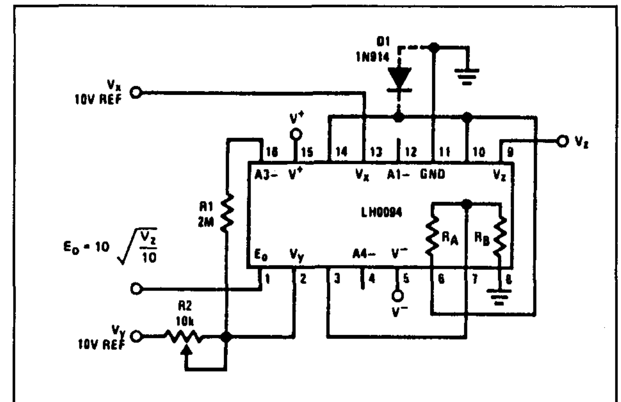


Figuur 11/1.2-4: Vermenigvuldigen van twee spanningen met de LH 0094.

1.2 Type-beschrijving



Figuur 11/1.2-5: Delen van twee spanningen met de LH 0094.



Figuur 11/1.2-7: Worteltrekken uit een spanning met de LH 0094.

- figuur 11/1.2-5:

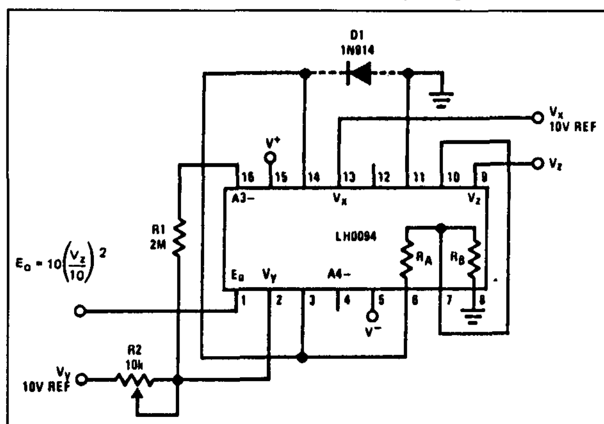
Nauwkeurige deler met een fout na afregeling van 0,05 %.
Afregelen: zet 10,0 V op VY en 0,1 V op VX en VZ, regel R3 af op 10,000 V op de uitgang, zet 10,0 V op alle ingangen, regel R2 af op 10,000 V op de uitgang, herhaal deze afregeling enige keren.

- figuur 11/1.2-6:

Nauwkeurige kwadrateerder met een fout na afregeling van minder dan 0,15 %.
Afregelen: zet 10,0 V op VZ, regel R2 af op 10,000 V op de uitgang.

- figuur 11/1.2-7:

Worteltrekker met een fout na afregeling van 0,15 %.
Afregelen: zet 10,0 V op alle ingangen, regel R2 af op 10,000 V op de uitgang.



Figuur 11/1.2-6: Kwadrateren van een spanning met de LH 0094.

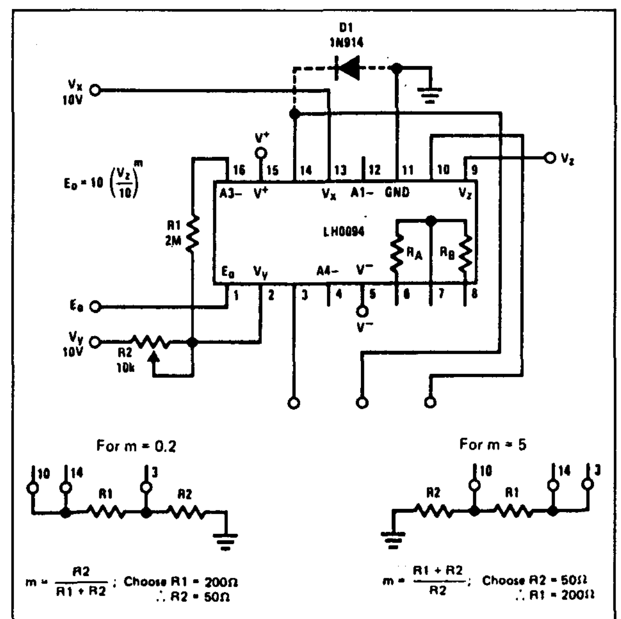
- figuur 11/1.2-8:

Tot de m-de macht verheffer met een bereik van m tussen 0,2 en 5.
Afregelen: zet 10,0 V op alle ingangen, regel R2 af op 10,000 V op de uitgang.

- figuur 11/1.2-9:

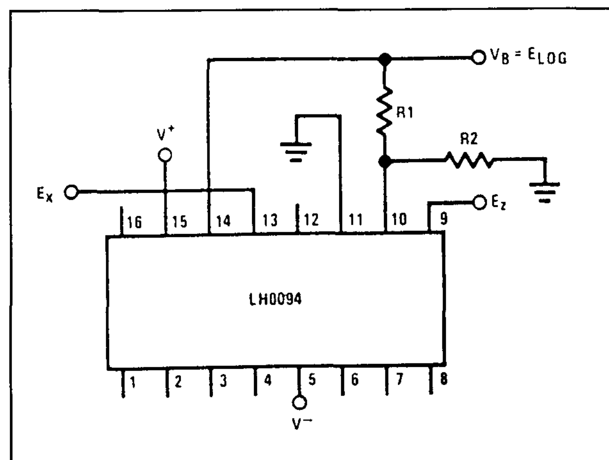
Logaritmische versterker die voldoet aan de uitdrukking:

$$U_{UIT} = \log_{10}\left(\frac{U_z}{U_x}\right)$$

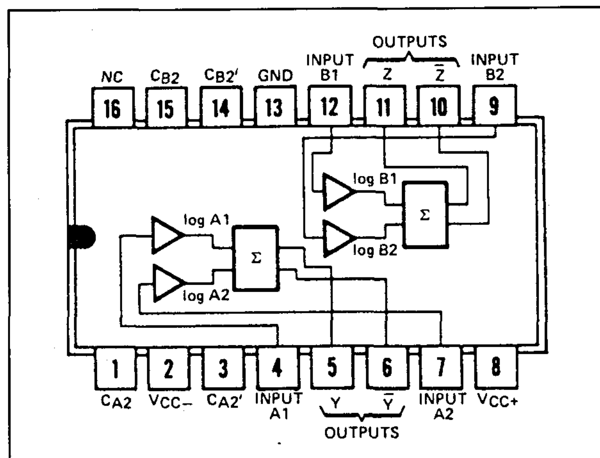


Figuur 11/1.2-8: Tot de m-de macht verheffen van een spanning met de LH 0094.

1.2 Type-beschrijving



Figuur 11/1.2-9: Logaritmische versterker met de LH 0094.



Figuur 11/1.2-10: Aansluitgegevens van de TL 441.

als de waarde van R2 ongeveer gelijk is aan 400 Ω en de waarde van R1 = 15,9.R2. Voor R2 moet, ter minimalisering van de temperatuurs-drift, een thermistor worden gekozen met een temperatuurs-coëfficiënt van 0,33 %/°C.

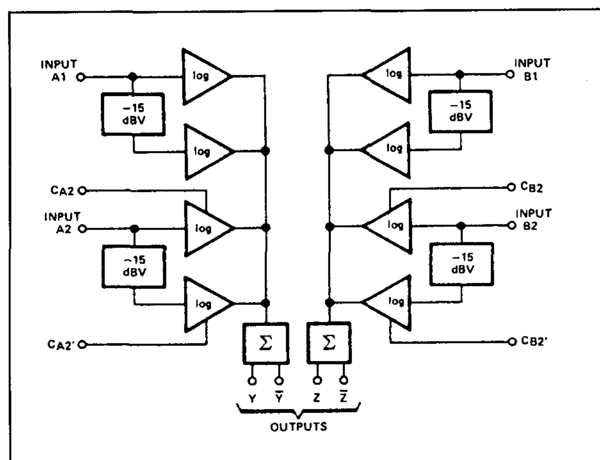
TL 441x

4 x LOG (+10 mV → +1 V) + sommeerder

De TL 441 is samengesteld uit vier identieke logaritmische trappen met ieder één ingang en een bereik van 30 dB. Op de ingangen kunnen rechtstreeks spanningen aangesloten worden. De uitgangen van deze trappen worden paar-gewijs aangeboden aan de ingangen van differentiële versterkers die differentiële uitgangen hebben. Het is in principe mogelijk alle trappen achter elkaar te schakelen, zodat een omvormer met een dynamisch bereik van 120 dB ontstaat.

Technische gegevens

- fabrikant: Texas Instruments
- behuizing: DIL-16
- aansluitgegevens: figuur 11/1.2-10
- intern blokschema: figuur 11/1.2-11
- intern schema: figuur 11/1.2-12
- voedingsspanning: +/–6 V typisch
  +/–8 V max.



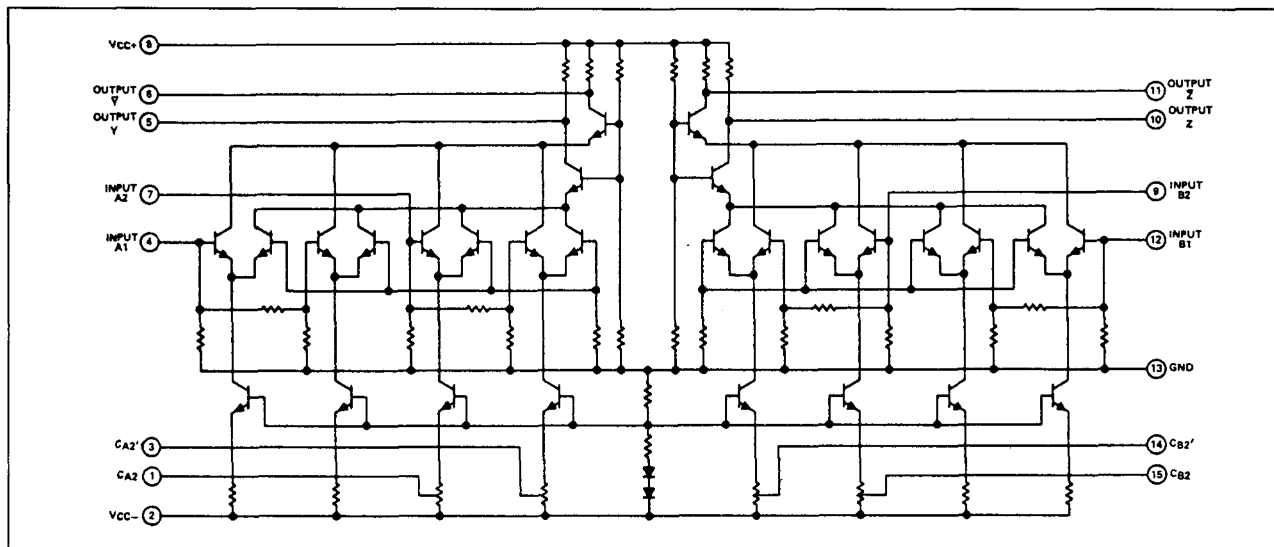
Figuur 11/1.2-11: Intern blokschema van de TL 441.

- ingangsparameters:
  - spanningen: +0,01 → +1 V max.
  - impedanties: 500 Ω typisch
- uitgangsparameters:
  - spanning: 12 V max.
  - impedantie: 200 Ω typisch
  - offset: 60 mV max (TL 441 M)
    40 mV max (TL 441 C)
- stroom: 30 mA max. per uitgang
- temp.-bereik:
  0 tot +70 °C (TL 441 C)
  –55 tot +125 °C (TL 441 M)

Opmerking

Door middel van de pennen CA en CB kan men de onderlinge verschillen tussen de di-

1.2 Type-beschrijving



Figuur 11/1.2-12: Intern schema van de TL 441.

verse logaritmische trappen wegregelen. Het volstaat de spanning op deze pennen ietsjes positiever of negatiever te maken dan de spanning die er in open toestand op staat.

Voorbeeld-schakelingen

- figuur 11/1.2-13:

Basis-schakeling, waarbij de differentiële uitgang wordt omgezet in een unipolaire uitgang door middel van een externe op-amp en in deze trap twee potentiometers worden opgenomen voor het instellen van het nulpunt en de schaal-factor.

- figuur 11/1.2-14:

Logaritmische versterker met een dynamisch bereik van meer dan 80 dB op de ingang.

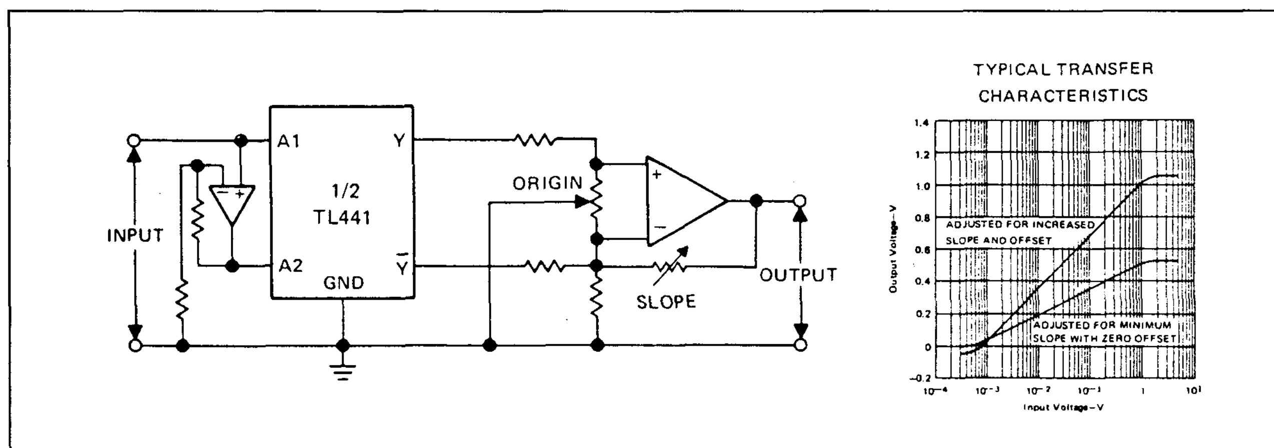
- figuur 11/1.2-15:

Dubbele logaritmische video-versterker met een dynamisch bereik van 50 dB en een bandbreedte van 10 MHz.

755 N

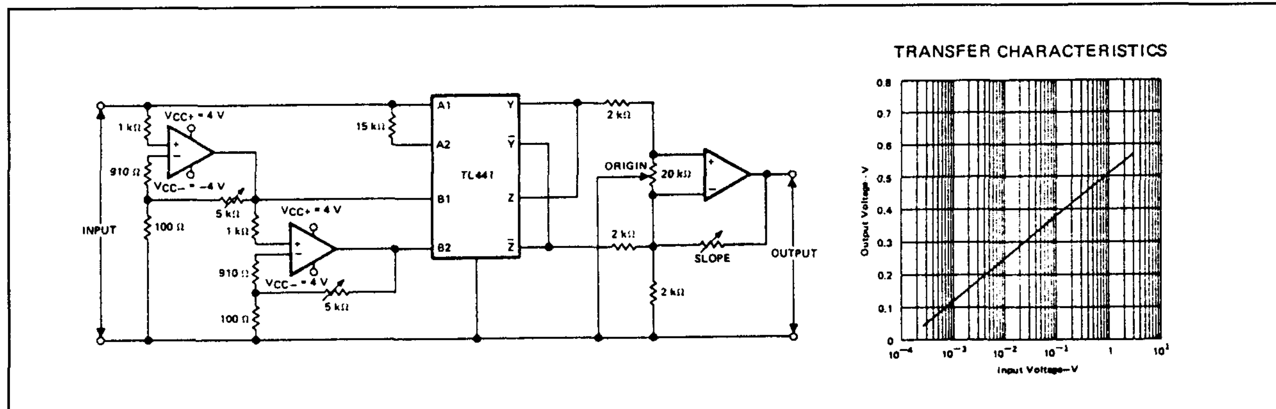
1 x LOG/ANTILOG (+1 nA → +1 mA)

Modulaire schakeling, die zonder externe componenten gebruikt kan worden voor het

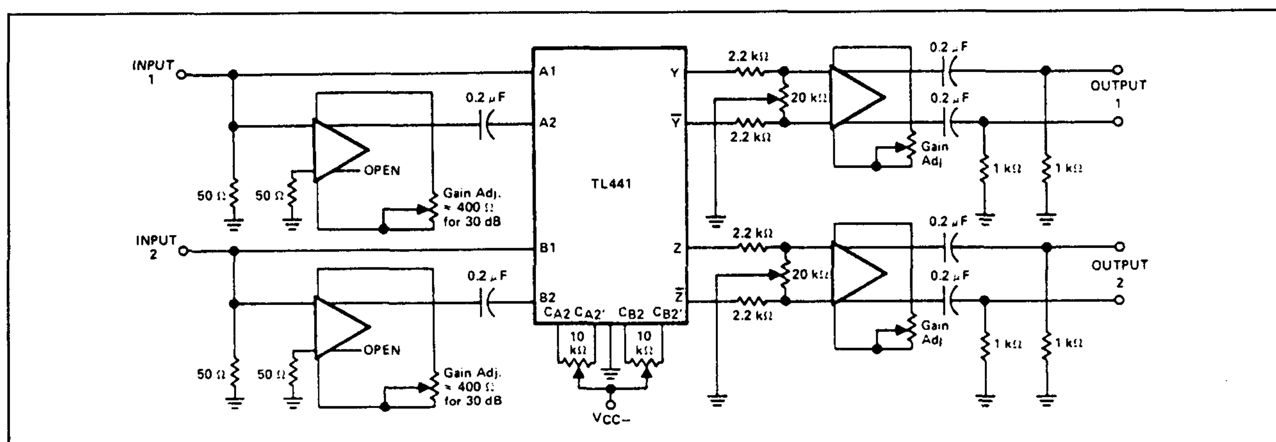


Figuur 11/1.2-13: Het instellen van het nulpunt van de schaal en de schaal-factor bij de TL 441.

1.2 Type-beschrijving



Figuur 11/1.2-14: Logaritmische omzetter met een bereik van 120 dB met een TL 441.

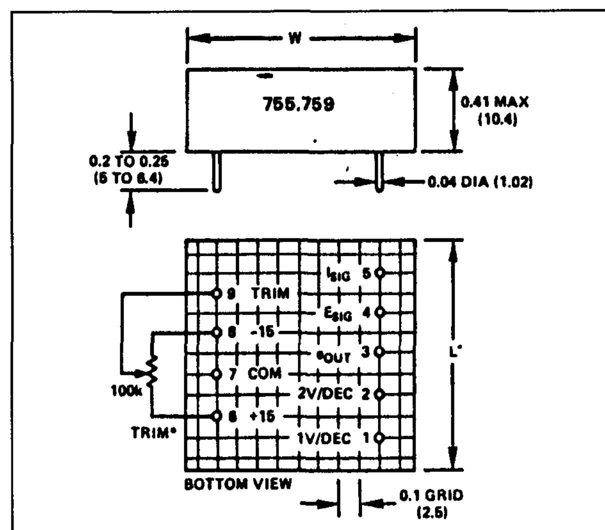


Figuur 11/1.2-15: Logaritmische videoversterker.

berekenen van de logaritmische verhouding van een ingangsstroom tussen +1 nA en +1 mA ten opzichte van een interne referentie-stroom van +10 μA. Er is een spannings-ingang aanwezig, waarbij dezelfde stelling geldt voor spanningen tussen +1 mV en +10 V ten opzichte van een referentie van +0,1 V.
De schaal-factor K kan ingesteld worden op 2/3, 1 of 2 V per decade.

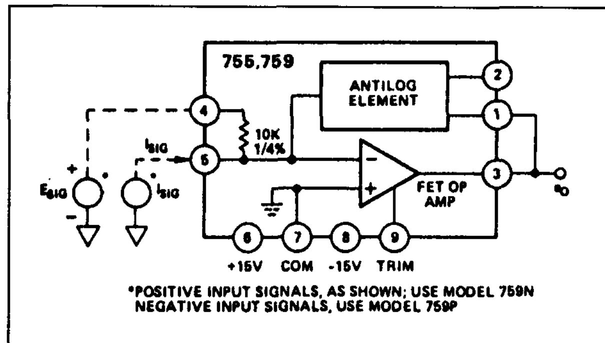
Technische gegevens

- fabrikant: Analog Devices
- behuizing en aansluitgegevens: speciaal, zie figuur 11/1.2-16
- intern blokschema: figuur 11/1.2-17
- transfer-karakteristiek: figuur 11/1.2-18



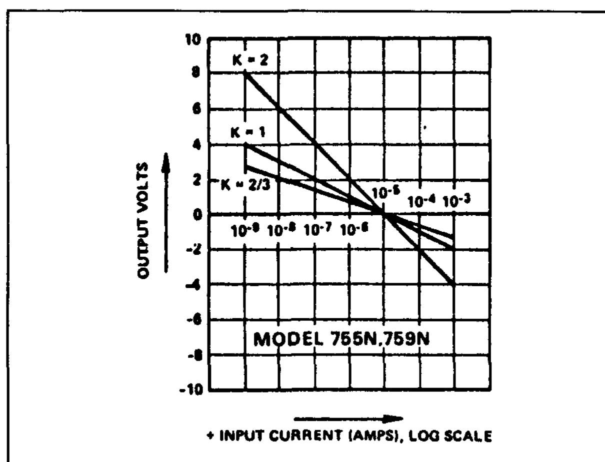
Figuur 11/1.2-16: Behuizing en aansluitcode van de 755 N.

1.2 Type-beschrijving



Figuur 11/1.2-17: Intern blokschema van de 755 N.

- voedingsspanning: +/−12 V min.
  +/−15 V typisch
  +/−18 V max.
- ingangsparameters:
  - spanningen: +0,01 → +1 V max.
  - stromen: +1 nA → +1 mA max.
  - offset: 400 μV max.
  - bias-stroom: 10 pA max.
- uitgangsparameters:
  - spanning: 10 V max.
  - stroom: 5 mA max.
  - impedantie: 0,5 Ω typisch
- transfer-parameters:
  - schaal-factor:
    1 V/decade: pen 3 met pen 1 verbinden
    2 V/decade: pen 3 met pen 2 verbinden
    2/3 V/decade: pen 3 met pennen 1 en 2 verbinden
  - fout: +/−1 % max.
  - temp. coëf.: +/−0,1 %/°C
- temp.-bereik: 0 tot +70 °C
- dynamische parameters:
  - bandbreedte: 100 kHz bij 1 mA
  - stijgtijd: 4 μs, volledig bereik
  - daaltijd: 400 μs, volledig bereik



Figuur 11/1.2-18: Transfer-karakteristiek van de 755 N.

Voorbeeld-schakeling

- figuur 11/1.2-19:

Het compenseren van de offset door middel van een externe instelpotentiometer.

755 P

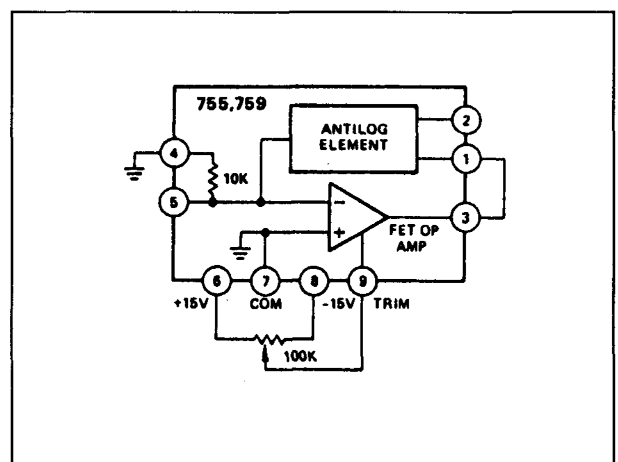
1 x LOG/ANTILOG (−1 nA →−1 mA)

Volledig identiek aan de 755 N, echter ontworpen voor het verwerken van negatieve ingangs-spanningen en -stromen.

Technische gegevens

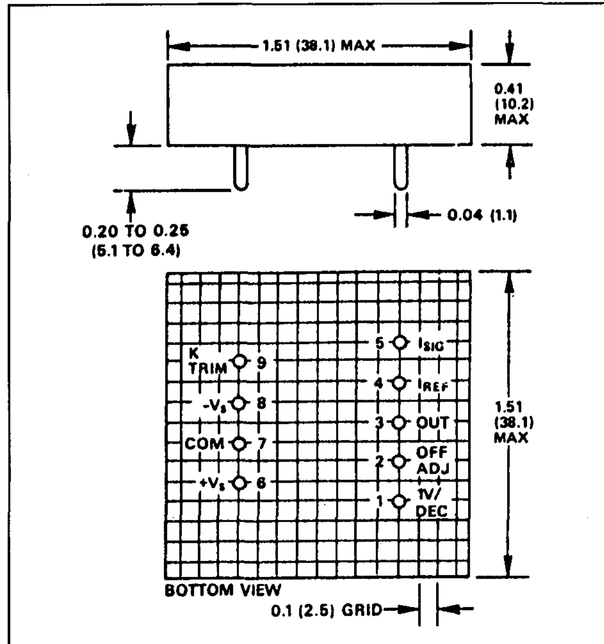
- fabrikant: Analog Devices
- behuizing en aansluitgegevens: speciaal, zie figuur 11/1.2-16
- intern blokschema: figuur 11/1.2-17
- ingangsparameters:
  - spanningen: −0,01 → −1 V max.
  - stromen: −1 nA → −1 mA max.

Voor de overige gegevens wordt verwezen naar de 755 N.



Figuur 11/1.2-19: Compenseren van de offset bij de 755 N.

1.2 Type-beschrijving



Figuur 11/1.2-20: Aansluitgegevens van de 757 N.

757 N

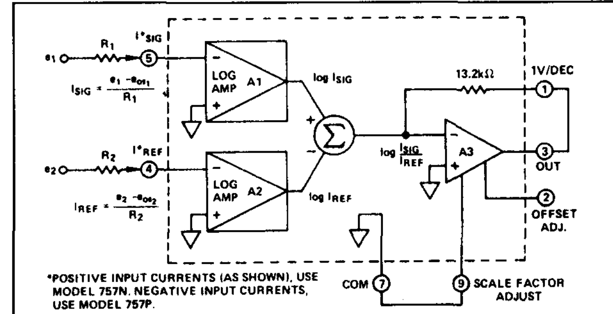
2 × LOG (+1 nA → +1 mA)

Modulaire schakeling, die zonder externe componenten gebruikt kan worden voor het berekenen van de logaritmische verhouding van twee ingangsstromen tussen +1 nA en +1 mA.

De schaal-factor K is intern vast ingesteld op een waarde van 1 V/decade.

Technische gegevens

- fabrikant: Analog Devices
- behuizing en aansluitgegevens: speciaal, zie figuur 11/1.2-20
- intern blokschema: figuur 11/1.2-21
- voedingsspanning: +/−12 V min.
  +/−15 V typisch
  +/−18 V max.
- ingangsparameters:
  - stromen: +1 nA → +1 mA max.
  - offset: 1 mV max.
  - bias-stroom: 10 pA max.
- uitgangsparameters:
  - spanning: 10 V max.
  - stroom: 5 mA max.



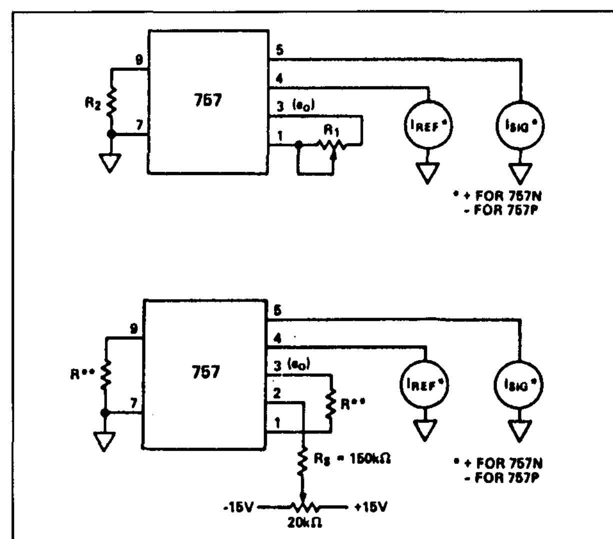
Figuur 11/1.2-21: Intern blokschema van de 757 N.

  - impedantie: 0,1 Ω typisch
  - offset: 15 mV max.
- transfer-parameters:
  - schaal-factor: 1 V/decade
  - fout: +/−0,5 % max.
  - temp. coëf.: +/−0,04 %/°C
- temp.-bereik: 0 tot +70 °C
- dynamische parameters:
  - bandbreedte: 40 kHz
  - ruis: 3 μV max.

Voorbeeld-schakeling

- figuur 11/1.2-22:

Het compenseren van de offset door middel van een externe instelpotentiometer R_S en



Figuur 11/1.2-22: Externe schakelingen rond de 757 voor het aanpassen van de schaalfactor en het compenseren van de offset.

1.2 Type-beschrijving

het variëren van de schaal-factor door middel van een externe instelpotentiometer R1.

757 P

2 × LOG (–1 nA → –1 mA)

Volledig identiek aan de 757 N, echter ontworpen voor het verwerken van negatieve ingangsstromen.

Technische gegevens
- fabrikant: Analog Devices
- behuizing en aansluitgegevens: speciaal, zie figuur 11/1.2-20
- intern blokschema: figuur 11/1.2-21
- ingangsparameters:
  - stromen: – 1 nA → – 1 mA max.

Voor de overige gegevens wordt verwezen naar de 757 N.

759 N

1 × LOG/ANTILOG (+1 nA → +1 mA)

Compatible met de 755 N, echter met afwijkende specificaties onder het motto 'sneller maar minder nauwkeurig'.

Technische gegevens
- fabrikant: Analog Devices
- behuizing en aansluitgegevens: speciaal, zie figuur 11/1.2-16
- intern blokschema: figuur 11/1.2-17
- transfer-karakteristiek: figuur 11/1.2-18
  - offset: 2 mV max.
  - bias-stroom: 200 pA max.
  - offset: 400 μV max.
- transfer-parameters:
  - fout: + / – 5 % max.
  - temp. coëf.: + / – 0,05 %/°C
- dynamische parameters:
  - bandbreedte: 200 kHz bij 1 mA
  - stijgtijd: 2,5 μs, volledig bereik
  - daaltijd: 80 μs, volledig bereik

Voor de overige gegevens wordt verwezen naar de 755 N.

759 P

1 × LOG/ANTILOG (–1 nA → –1 mA)

Volledig identiek aan de 759 N, echter ontworpen voor het verwerken van negatieve ingangs-spanningen en -stromen.

Technische gegevens
- fabrikant: Analog Devices
- behuizing en aansluitgegevens: speciaal, zie figuur 11/1.2-16
- intern blokschema: figuur 11/1.2-17
- ingangsparameters:
  - spanningen: – 0,01 → – 1 V max.
  - stromen: – 1 nA → – 1 mA max.

Voor de overige gegevens wordt verwezen naar de 759 N en naar de 755 N.

AD 7111x

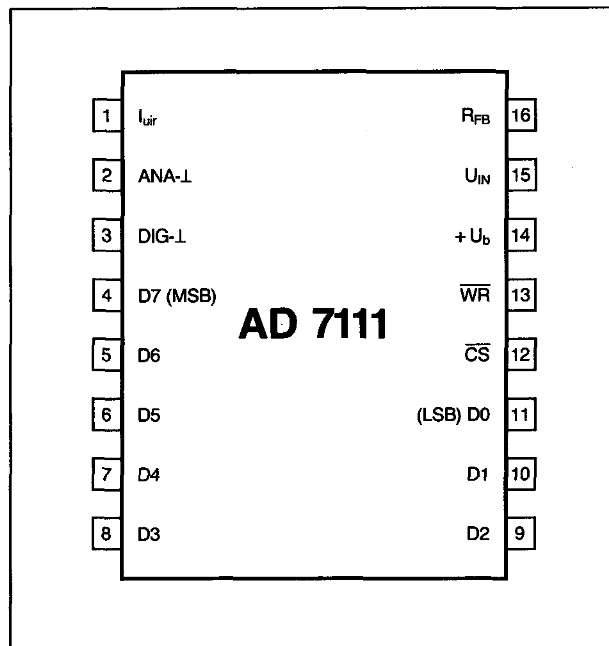
LOGDAC 0 → –89,625 dB per 0,375 dB

De AD 7111 is een in CMOS-technologie uitgevoerde digitaal programmeerbare logaritmische verzwakker die een analoog signaal van maximaal + / – 25 V over het bereik 0 tot – 89,625 dB kan verzwakken in stappen van 0,375 dB. De mate van verzwakking wordt bepaald door de **binaire** code-samenstelling van het 8 bit brede woord dat op de digitale DATA-ingangen wordt aangelegd. Iedere code-verandering met één LSB komt overeen met een verzwakking of versterking van 0,375 dB.

Het IC is microprocessor compatible en kan gestuurd worden met de standaard $\overline{CS}$- en $\overline{WR}$-signalen die op iedere μP-bus ter beschikking staan.

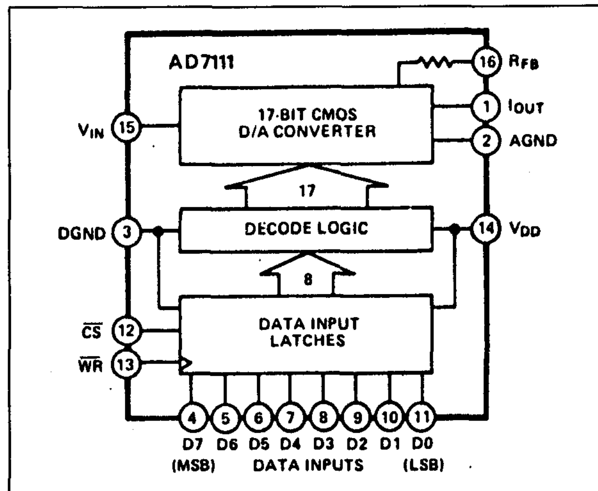
Technische gegevens
- fabrikant: Analog Devices
- behuizing: DIL-16
- aansluitgegevens: figuur 11/1.2-23
- intern blokschema: figuur 11/1.2-24
- voedingsspanning: + 5 V typisch
+ 7 V max.
- voedingsstroom: 4 mA max.
- ingangsspanning: + / – 35 V max.

1.2 Type-beschrijving



Figuur 11/1.2-23: Aansluitgegevens van de AD 7111.

- ingangs-impedantie: 9 kΩ min.
  11 kΩ typisch
  15 kΩ max.
- feedback-impedantie: 11,5 kΩ typisch
- transfer-parameters:
  - dB = f(code): figuur 11/1.2-25
  - fout: figuur 11/1.2-26
- temp.-bereik: 0 tot +70 °C



Figuur 11/1.2-24: Intern blokschema van de AD 7111.

- tijd-diagram besturing: figuur 11/1.2-27
- dynamische parameters:
  - bandbreedte: 200 kHz
  - ruis: 70 nV/Hz^{-1} max.
  - delay: 4,5 μs max.
  - feedthrough: −68 dB typisch (1 kHz)

Voorbeeld-schakeling

- figuur 11/1.2-28:

Basis-schakeling met de AD 7111, waarbij de uitgangsstroom door middel van een ex-

D7-D4 \ D3-D0	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111
0000	0.0	0.375	0.75	1.125	1.5	1.875	2.25	2.625	3.0	3.375	3.75	4.125	4.5	4.875	5.25	5.625
0001	6.0	6.375	6.75	7.125	7.5	7.875	8.25	8.625	9.0	9.375	9.75	10.125	10.5	10.875	11.25	11.625
0010	12.0	12.375	12.75	13.125	13.5	13.875	14.25	14.625	15.0	15.375	15.75	16.125	16.5	16.875	17.25	17.625
0011	18.0	18.375	18.75	19.125	19.5	19.875	20.25	20.625	21.0	21.375	21.75	22.125	22.5	22.875	23.25	23.625
0100	24.0	24.375	24.75	25.125	25.5	25.875	26.25	26.625	27.0	27.375	27.75	28.125	28.5	28.875	29.75	29.625
0101	30.0	30.375	30.75	31.125	31.5	31.875	32.25	32.625	33.0	33.375	33.75	34.125	34.5	34.875	35.25	35.625
0110	36.0	36.375	36.75	37.125	37.5	37.875	38.25	38.625	39.0	39.375	39.75	40.125	40.5	40.875	41.25	41.625
0111	42.0	42.375	42.75	43.125	43.5	43.875	44.25	44.625	45.0	45.375	45.75	46.125	46.5	46.875	47.25	47.625
1000	48.0	48.375	48.75	49.125	49.5	49.875	50.25	50.625	51.0	51.375	51.75	52.125	52.5	52.875	53.25	53.625
1001	54.0	54.375	54.75	55.125	55.5	55.875	56.25	56.625	57.0	57.375	57.75	58.125	58.5	58.875	59.25	59.625
1010	60.0	60.375	60.75	61.125	61.5	61.875	62.25	62.625	63.0	63.375	63.75	64.125	64.5	64.875	65.25	65.625
1011	66.0	66.375	66.75	67.125	67.5	67.875	68.25	68.625	69.0	69.375	69.75	70.125	70.5	70.875	71.25	71.625
1100	72.0	72.375	72.75	73.125	73.5	73.875	74.25	74.625	75.0	75.375	75.75	76.125	76.5	76.875	77.25	77.625
1101	78.0	78.375	78.75	79.125	79.5	79.875	80.25	80.625	81.0	81.375	81.75	82.125	82.5	82.875	83.25	83.625
1110	84.0	84.375	84.75	85.125	85.5	85.875	86.25	86.625	87.0	87.375	87.75	88.125	88.5	88.875	89.25	89.625
1111	MUTE	MUTE	MUTE	MUTE	MUTE	MUTE	MUTE	MUTE	MUTE	MUTE	MUTE	MUTE	MUTE	MUTE	MUTE	MUTE

Figuur 11/1.2-25: Verband tussen de verzwakking en de binaire code op de DATA-ingangen bij de AD 7111.

1.2 Type-beschrijving

Parameter	AD7111L/C/U GRADES $T_A = +25°C$	AD7111L/C/U GRADES $T_A = T_{min}, T_{max}$	AD7111K/B/T GRADES $T_A = +25°C$	AD7111K/B/T GRADES $T_A = T_{min}, T_{max}$	Units
NOMINAL RESOLUTION	0.375	0.375	0.375	0.375	dB
ACCURACY RELATIVE TO 0dB ATTENUATION					
0.375dB Steps:					
Accuracy ≤ ±0.17dB	0 to 36	0 to 36	0 to 30	0 to 30	dB min
Monotonic	0 to 54	0 to 54	0 to 48	0 to 48	dB min
0.75dB Steps:					
Accuracy ≤ ±0.35dB	0 to 48	0 to 42	0 to 42	0 to 36	dB min
Monotonic	0 to 72	0 to 66	0 to 72	0 to 60	dB min
1.5dB Steps:					
Accuracy ≤ ±0.7dB	0 to 54	0 to 48	0 to 48	0 to 42	dB min
Monotonic	Full Range	0 to 78	0 to 85.5	0 to 72	dB min
3.0dB Steps:					
Accuracy ≤ ±1.4dB	0 to 66	0 to 54	0 to 60	0 to 48	dB min
Monotonic	Full Range	Full Range	Full Range	Full Range	
6.0dB Steps:					
Accuracy ≤ ±2.7dB	0 to 72	0 to 60	0 to 60	0 to 48	dB min
Monotonic	Full Range	Full Range	Full Range	Full Range	
GAIN ERROR	±0.1	±0.15	±0.15	±0.20	dB max

Figuur 11/1.2-26: Afwijkingen bij de AD 7111 voor verschillende verzwakkings-instellingen.

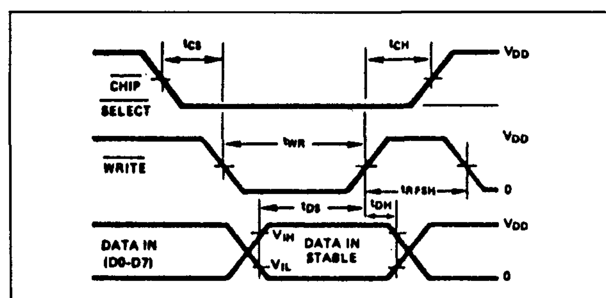
terne operationele versterker wordt omgezet in een uitgangsspanning.

AD 7115

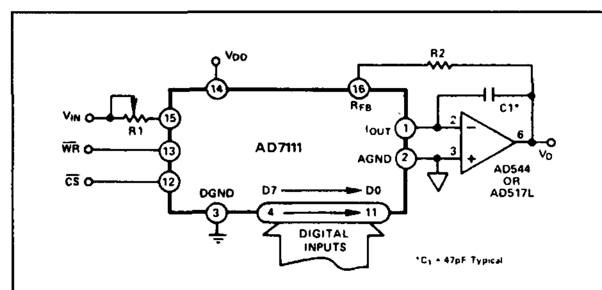
LOGDAC 0 → −19,9 dB per 0,1 dB

De AD 7115 is een in CMOS-technologie uitgevoerde digitaal programmeerbare logaritmische verzwakker die een analoog signaal van maximaal +/−35 V over het bereik 0 tot −19,9 dB kan verzwakken in stappen van 0,1 dB. De mate van verzwakking wordt bepaald door de **BCD** code-samenstelling van het 2,5 brede BCD-woord dat op de digitale DATA-ingangen D0 tot en met D8 wordt aangelegd.
Het IC is microprocessor compatible en kan gestuurd worden met het standaard $\overline{WR}$-signaal dat op iedere µP-bus ter beschikking staan. Als men met een 8 bit brede bus werkt kunnen de negen DATA-bits in twee leessycli worden ingelezen door gebruik te maken van de ingangen $\overline{HBEN}$ en $\overline{LBEN}$.

Technische gegevens
- fabrikant: Analog Devices
- behuizing: DIL-18
- aansluitgegevens: figuur 11/1.2-29
- intern blokschema: figuur 11/1.2-30
- voedingsspanning: +5 V typisch
  +7 V max.
- voedingsstroom: 4 mA max.
- ingangsspanning: +/−35 V max.
- ingangs-impedantie: 7 kΩ min.
  11 kΩ typisch
  18 kΩ max.
- feedback-impedantie: 11 kΩ typisch

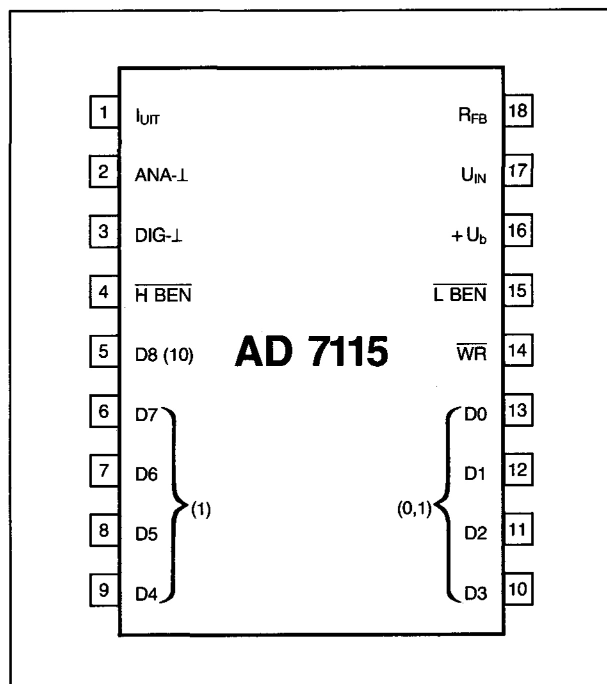


Figuur 11/1.2-27: Timing van de besturings-pulsen voor het inlezen van DATA in de AD 7111.

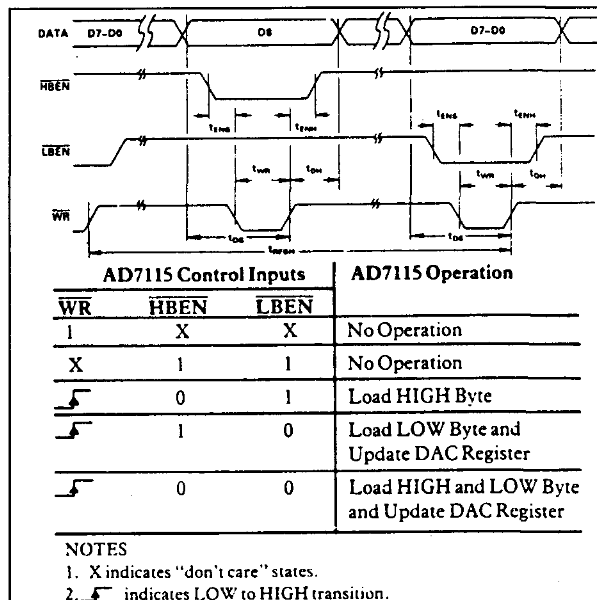


Figuur 11/1.2-28: Voorbeeld-schakeling met de AD 7111.

1.2 Type-beschrijving



Figuur 11/1.2-29: Aansluitgegevens van de AD 7115.



AD7115 Control Inputs			AD7115 Operation
WR	HBEN	LBEN	
1	X	X	No Operation
X	1	1	No Operation
_/‾	0	1	Load HIGH Byte
_/‾	1	0	Load LOW Byte and Update DAC Register
_/‾	0	0	Load HIGH and LOW Byte and Update DAC Register

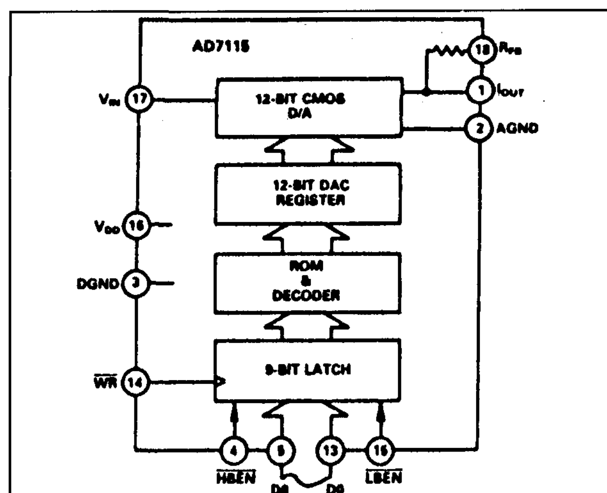
NOTES
1. X indicates "don't care" states.
2. _/‾ indicates LOW to HIGH transition.

Figuur 11/1.2-31: Timing en logische signalen op de besturings-pennen van de AD 7115 voor het inlezen van een woord via de DATA-ingangen.

- transfer-parameters:
  - dB = f(code):

$$U_{UIT} = -U_{IN} \cdot 10 \exp -\left(\frac{0{,}1 \cdot N}{20}\right)$$

  waarin N staat voor de decimale waarde van de BCD-code en gaat van 0 tot 199.
  - fout: +/−0,12 dB max.



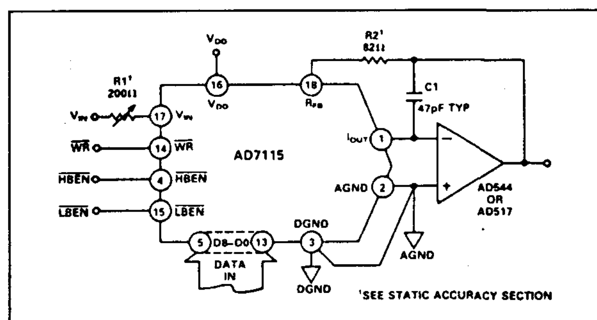
Figuur 11/1.2-30: Intern blokschema van de AD 7115.

- temp.-bereik: 0 tot +70 °C
- tijd-diagram besturing: figuur 11/1.2-31
- dynamische parameters:
  - bandbreedte: 200 kHz
  - ruis: 70 nV/Hz^{-1} max.
  - delay: 5 μs max.
  - feedthrough: −76 dB typisch (1 kHz)

Voorbeeld-schakelingen

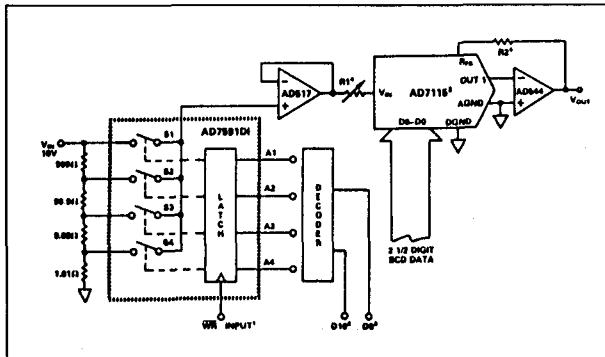
- figuur 11/1.2-32:

Basis-schakeling met de AD 7115, waarbij



Figuur 11/1.2-32: Voorbeeld-schakeling met de AD 7115.

1.2 Type-beschrijving



Figuur 11/1.2-33: Verzwakker met een bereik tot – 80 dB.

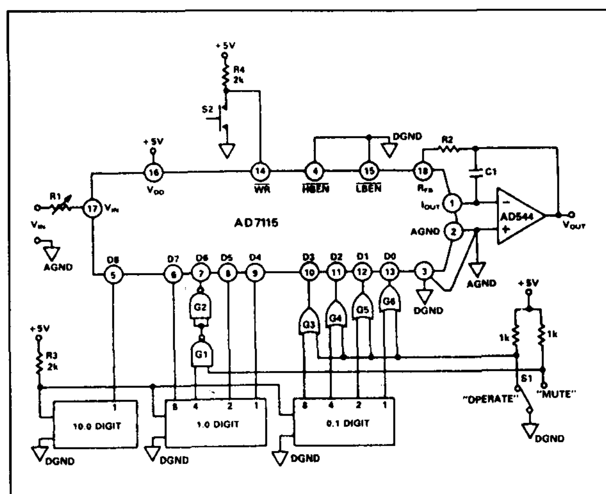
de uitgangsstroom door middel van een externe operationele versterker wordt omgezet in een uitgangsspanning.

- figuur 11/1.2-33:

Verzwakker met een bereik van 0 tot 80 dB met een resolutie van 0,1 dB. De eigenlijke LOGDAC-schakeling wordt vooraf gegaan door een operationele versterker met programmeerbare versterking.

- figuur 11/1.2-34:

Verzwakker waarvan de verzwakking instelbaar is met behulp van duimwiel-schakelaars. Deze schakelaars moeten intern BCD-gecodeerd zijn. De nieuwe stand van de schakelaars wordt ingelezen met behulp van de drukschakelaar S2. Het zou ook mogelijk



Figuur 11/1.2-34: Met behulp van duimwiel-schakelaars instelbare verzwakker.

zijn de WR-ingang te sturen uit de uitgang van een eenvoudige astabiele multivibrator, zodat de gegevens op de DATA-ingangen regelmatig worden afgetast.

AD 7118

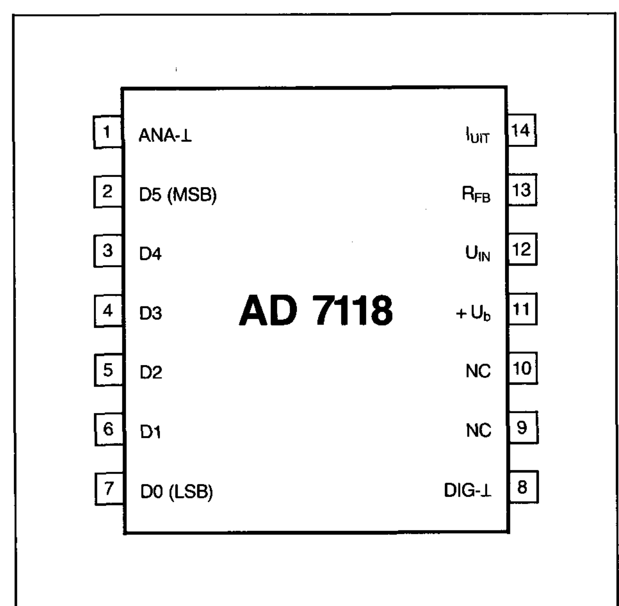
LOGDAC 0 → –88,5 dB per 1,5 dB

De AD 7118 is een in CMOS-technologie uitgevoerde digitaal programmeerbare logaritmische verzwakker die in een analoog signaal van maximaal + / – 35 V over het bereik 0 tot – 88,5 dB kan verzwakken in stappen van 1,5 dB. De mate van verzwakking wordt bepaald door de **binaire** code-samenstelling van het 6 bit brede woord dat op de digitale DATA-ingangen D0 tot en met D5 wordt aangelegd.

Deze LOGDAC heeft geen ingebouwde latch of besturing, de momentele code op de DATA-ingangen wordt onmiddellijk verwerkt.

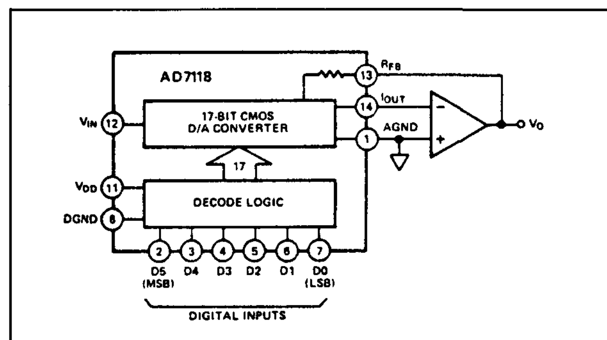
Technische gegevens

- fabrikant: Analog Devices
- behuizing: DIL-14
- aansluitgegevens: figuur 11/1.2-35



Figuur 11/1.2-35: Aansluitgegevens van de AD 7118.

1.2 Type-beschrijving



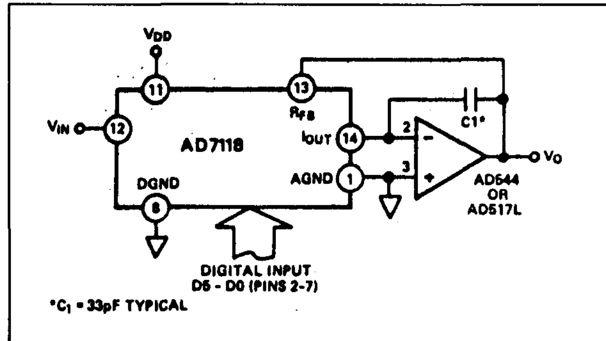
Figuur 11/1.2-36: Intern blokschema van de AD 7118.

- intern blokschema: figuur 11/1.2-36
- voedingsspanning: +5 V min.
  +15 V typisch
  +17 V max.
- de schakeling accepteert zowel TTL- als CMOS-signalen!
- voedingsstroom: 2 mA max.
- ingangsspanning: +/−35 V max.
- ingangs-impedantie: 9 kΩ min.
  17 kΩ typisch
  21 kΩ max.
- feedback-impedantie: 18 kΩ typisch
- transfer-parameters:
  - dB = f(code): figuur 11/1.2-37
  - fout: +/−1 dB max.
- temp.-bereik: 0 tot +70 °C.
- dynamische parameters:
  - bandbreedte: 20 kHz
  - ruis: 70 nV/Hz^{-1} max.
  - delay: 2,2 μs max.
  - feedthrough: −86 dB typisch (1 kHz)

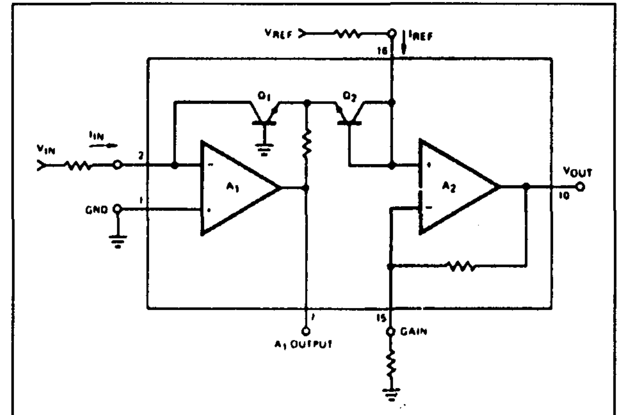
N	Digital Input D5 D0	Attenuation dB	V_{OUT}[1]	N	Digital Input	Attenuation	V_{OUT}[1]
0	00 00 00	0.0	10.00	31	01 11 11	46.5	0.0473
1	00 00 01	1.5	8.414	32	10 00 00	48.0	0.0398
2	00 00 10	3.0	7.079	33	10 00 01	49.5	0.0335
3	00 00 11	4.5	5.957	34	10 00 10	51.0	0.0282
4	00 01 00	6.0	5.012	35	10 00 11	52.5	0.0237
5	00 01 01	7.5	4.217	36	10 01 00	54.0	0.0200
6	00 01 10	9.0	3.548	37	10 01 01	55.5	0.0168
7	00 01 11	10.5	2.985	38	10 01 10	57.0	0.0141
8	00 10 00	12.0	2.512	39	10 01 11	58.5	0.0119
9	00 10 01	13.5	2.113	40	10 10 00	60.0	0.0100
10	00 10 10	15.0	1.778	41	10 10 01	61.5	0.00841
11	00 10 11	16.5	1.496	42	10 10 10	63.0	0.00708
12	00 11 00	18.0	1.259	43	10 10 11	64.5	0.00596
13	00 11 01	19.5	1.059	44	10 11 00	66.0	0.00501
14	00 11 10	21.0	0.891	45	10 11 01	67.5	0.00422
15	00 11 11	22.5	0.750	46	10 11 10	69.0	0.00355
16	01 00 00	24.0	0.631	47	10 11 11	70.5	0.00299
17	01 00 01	25.5	0.531	48	11 00 00	72.0	0.00251
18	01 00 10	27.0	0.447	49	11 00 01	73.5	0.00211
19	01 00 11	28.5	0.376	50	11 00 10	75.0	0.00178
20	01 01 00	30.0	0.316	51	11 00 11	76.5	0.00150
21	01 01 01	31.5	0.266	52	11 01 00	78.0	0.00126
22	01 01 10	33.0	0.224	53	11 01 01	79.5	0.00106
23	01 01 11	34.5	0.188	54	11 01 10	81.0	0.000891
24	01 10 00	36.0	0.158	55	11 01 11	82.5	0.000750
25	01 10 01	37.5	0.133	56	11 10 00	84.0	0.000631
26	01 10 10	39.0	0.112	57	11 10 01	85.5	0.000531
27	01 10 11	40.5	0.0944	58	11 10 10	87.0	0.000447
28	01 11 00	42.0	0.0794	59	11 10 11	88.5	0.000376
29	01 11 01	43.5	0.0668	60	11 11 XX[2]	∞	
30	01 11 10	45.0	0.0562				

Figuur 11/1.2-37: Verband tussen de verzwakking en de binaire code op de DATA-ingangen bij de AD 7118.

1.2 Type-beschrijving



Figuur 11/1.2-38: Voorbeeld-schakeling met de AD 7118.



Figuur 11/1.2-40: Intern blokschema van de ICL 8048.

Voorbeeld-schakeling

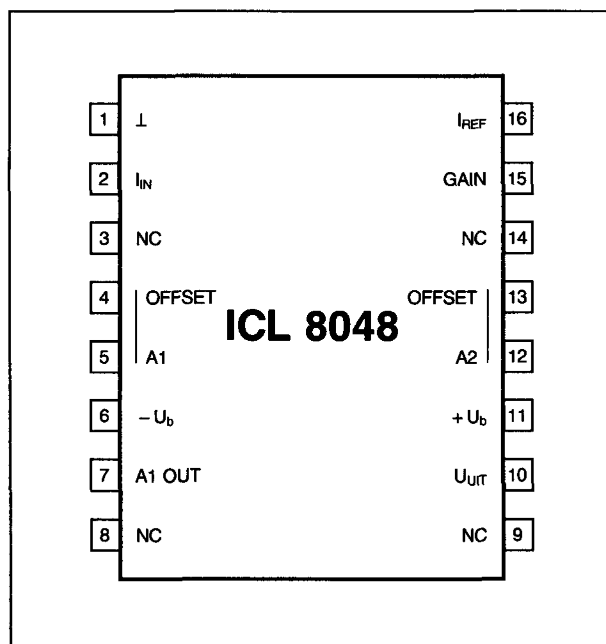
- figuur 11/1.2-38:

Basis-schakeling met de AD 7118, waarbij de uitgangsstroom door middel van een externe operationele versterker wordt omgezet in een uitgangsspanning.

ICL 8048x

1 x LOG (+1 nA → +1 mA)

Enkelvoudige logaritmische omvormer die als voorbeeld werd genomen in hoofdstuk 11/1.1 en dus precies volgens de daar behandelde theorie werkt.
De referentie-stroom moet via externe schakelingen aan het IC aangeboden worden.



Figuur 11/1.2-39: Aansluitgegevens van de ICL 8048.

Technische gegevens

- fabrikant: Intersil
- behuizing: DIL-16
- aansluitgegevens: figuur 11/1.2-39
- intern blokschema: figuur 11/1.2-40
- voedingsspanning: +/− 15 V typisch
  +/− 18 V max.
- voedingsstroom: +/− 6,7 mA max.
- ingangsparameters:
  - stromen: +0,1 nA → +1 mA typisch
    +2 mA max.
  - offset: 25 mV max. (8048 BC)
    50 mV max. (8048 CC)
- uitgangsparameters:
  - spanning: 14 V max.
- transfer-parameters:
  - fout: 0,5 % max. (8048 BC)
    1,0 % max. (8048 CC).
  - temp. coëf.: 0,8 mV/°C max.
- temp.-bereik: 0 tot +70 °C

Voorbeeld-schakelingen

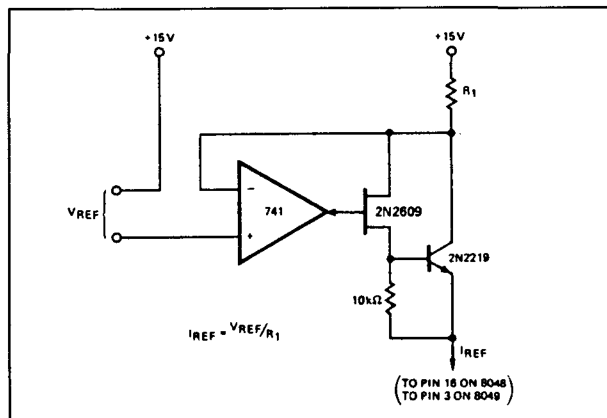
- figuur 11/1.2-41:

Eenvoudige constante stroombron voor het genereren van de referentie-stroom.

- figuur 11/1.2-42:

Praktisch schema van een laagfrequente

1.2 Type-beschrijving



Figuur 11/1.2-41: Een voorbeeld van een constante stroombron voor het opwekken van de I_{REF}.

dB-meter met een bereik van −20 tot +20 dB en een nulpunt dat overeen komt met 0,775 V_{eff}. Op punt C moet de uitgang van een nauwkeurige effectieve gelijkrichter worden aangesloten, die de te meten laagfrequente wisselspanning omzet in een DC-signaal. Met R38 wordt de referentie-stroom ingesteld op 100 μA, met R42 kan men de uitgangsspanning op 0 V regelen als de ingangsspanning gelijk is aan 0,775 V.

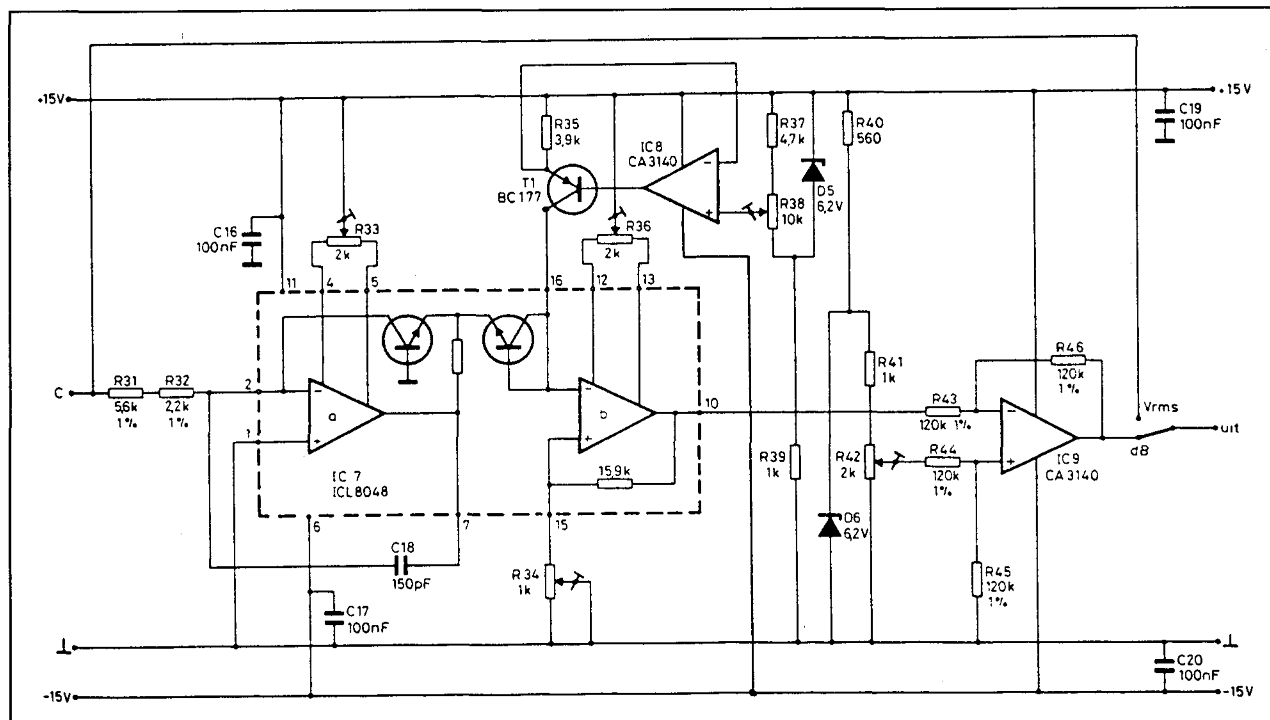
ICL 8049x

1 × ANTILOG (+10 mV →+10 V)

Enkelvoudige antilogaritmische omvormer die als voorbeeld werd genomen in hoofdstuk 11/1.1 en dus precies volgens de daar behandelde theorie werkt.
De referentie-stroom moet via externe schakelingen aan het IC aangeboden worden.

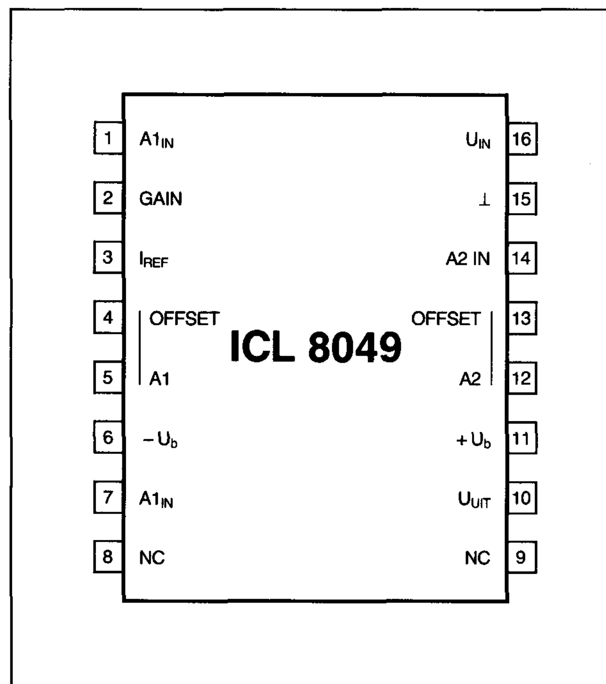
Technische gegevens

- fabrikant: Intersil
- behuizing: DIL-16
- aansluitgegevens: figuur 11/1.2-43
- intern blokschema: figuur 11/1.2-44
- voedingsspanning: +/−15 V typisch
  +/−18 V max.
- voedingsstroom: +/−6,7 mA max.



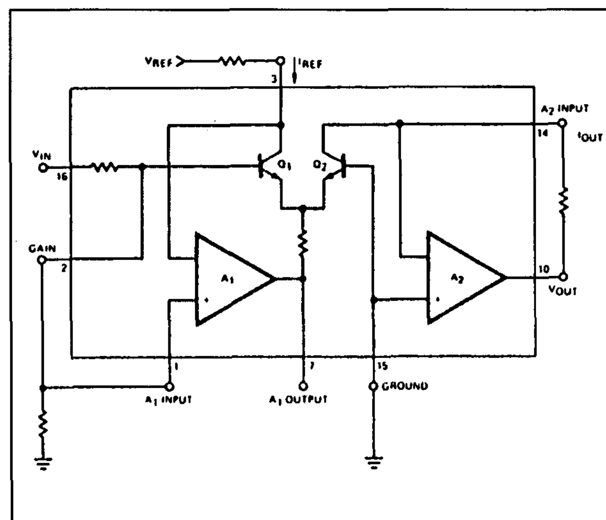
Figuur 11/1.2-42: Een volledig uitgewerkte (minus voorversterker en gelijkrichter) decibel-meter met een bereik van −20 tot +20 dB rond de ICL 8048.

1.2 Type-beschrijving



Figuur 11/1.2-43: Aansluitgegevens van de ICL 8049.

- ingangsparameters:
  - spanning: + 10 mV → + 10 V typisch
    + 15 V max.
  - offset: 25 mV max. (8049 BC)
    50 mV max. (8049 CC)
- uitgangsparameters:
  - spanning: 14 V max.



Figuur 11/1.2-44: Intern blokschema van de ICL 8049.

- transfer-parameters:
  - fout: 10 mV max. (8049 BC)
    25 mV max. (8049 CC)
  - temp. coëf.: 0,38 mV/°C max. (8049 BC)
    0,55 mV/°C max. (8049 C)
- temp.-bereik: 0 tot + 70°C

Voorbeeld-schakeling
- figuur 11/1.2-45:

Basis-schakeling rond de ICL 8049.
Afregelen:
- verbindt de ingang (pen 16) met + 15 V en regel R7 af op 0 V op de uitgang;
- verbindt de ingang met de massa en regel R4 af op + 10,0 V op de uitgang;
- verbindt de ingang met een spanning van + 2,00 V en regel R2 af op een uitgangs-spanning van 100 mV.

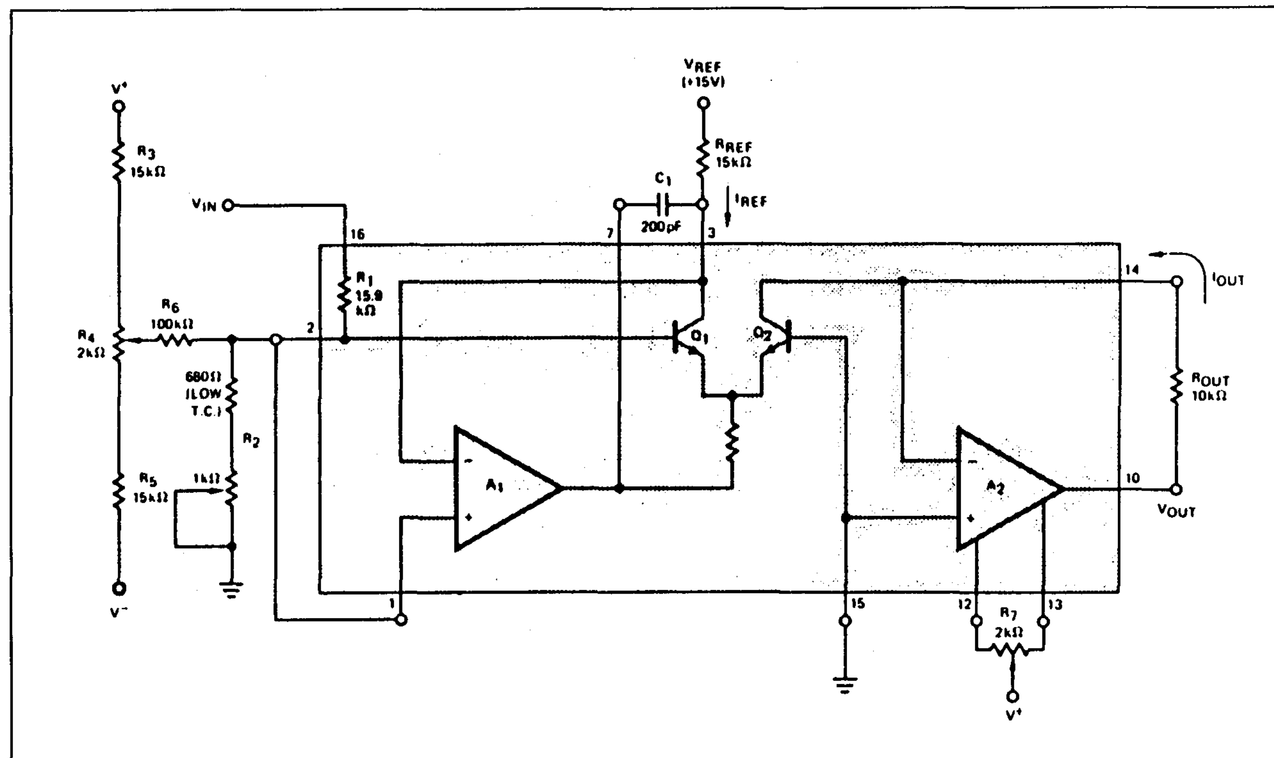
SN 56502

4 × LOG (+10 mV → +1 V) + sommeerder

De SN 56502 is samengesteld uit vier identieke logaritmische trappen met ieder één ingang en een bereik van 30 dB. Op de ingangen kunnen rechtstreeks spanningen aangesloten worden. De uitgangen van deze trappen worden paar-gewijs aangeboden aan de ingangen van verschil-versterkers die twee in tegenfase variërende uitgangen hebben. Het is in principe mogelijk alle trappen achter elkaar te schakelen, zodat een omvormer met een dynamisch bereik van 120 dB ontstaat.

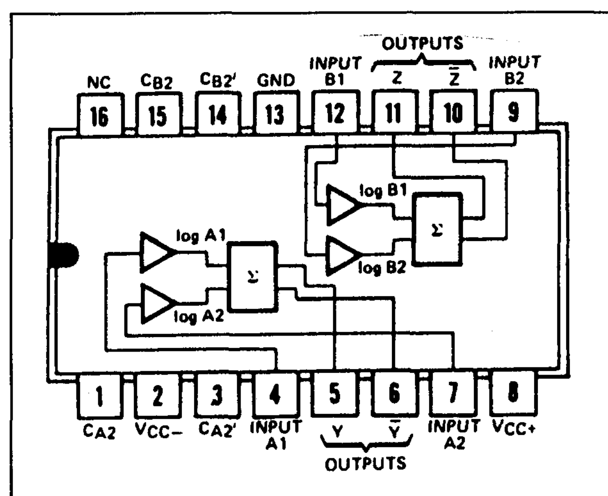
Technische gegevens
- fabrikant: Texas Instruments
- behuizing: DIL-16
- aansluitgegevens: figuur 11/1.2-46
- intern blokschema: figuur 11/1.2-47
- voedingsspanning: + / − 6 V typisch
  + / − 8 V max.
- ingangsparameters:
  - spanningen: + 0,01 → + 1 V max.
  - impedanties: 500 Ω typisch
- uitgangsparameters:
  - spanning: 12 V max.
  - impedantie: 200 Ω typisch

1.2 Type-beschrijving



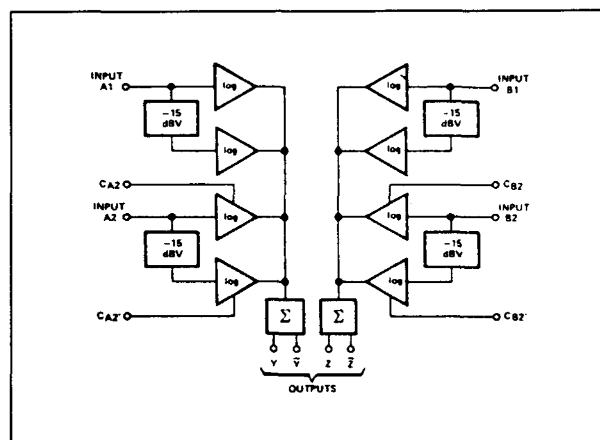
Figuur 11/1.2-45: Voorbeeld-schakeling met de ICL 8049.

- offset: 25 mV typisch
  60 mV max.
- stroom: 30 mA max. per uitgang
- fout: 2 dB max.
- temp.-bereik: − 55 tot + 125 °C.



Figuur 11/1.2-46: Aansluitgegevens van de SN 76502.

Opmerking
Door middel van de pennen CA en CB kan men de onderlinge verschillen tussen de diverse logaritmische trappen wegregelen. Het volstaat de spanning op deze pennen te variëren rond de instel-spanning.



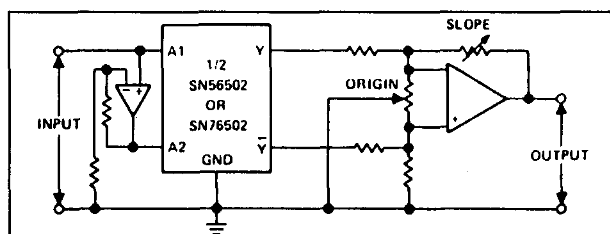
Figuur 11/1.2-47: Intern blokschema van de SN 76502.

1.2 Type-beschrijving

Voorbeeld-schakeling

- figuur 11/1.2-48:

Basis-schakeling, waarbij de differentiële uitgang wordt omgezet in een unipolaire uitgang door middel van een externe op-amp en in deze trap twee potentiometers worden opgenomen voor het instellen van het nulpunt en de schaal-factor.



Figuur 11/1.2-48: Voorbeeld-schakeling met de SN 76502.

SN 76502

4 × LOG (+10 mV → +1 V) + sommeerder

Compatible met de SN 56502, echter met afwijkende parameters

Technische gegevens

- fabrikant: Texas Instruments
- behuizing: DIL-16
- aansluitgegevens: figuur 11/1.2-46
- intern blokschema: figuur 11/1.2-47
- uitgangs-parameters:
  - offset: 40 mV typisch
- fout: 1 dB max.
- temp.-bereik: 0 tot + 70 °C

Voor de overige gegevens wordt verwezen naar de SN 56502.

1.2 Type-beschrijving

11/2

Analoge vermenigvuldigers

Inhoud

MC 1494L	vierquadrant	1,0%	1,0 MHz
MC 1594L	vierquadrant	0,5%	1,0 MHz
MC 1495L	vierquadrant	2,0%	3,0 MHz
MC 1595L	vierquadrant	1,0%	3,0 MHz
CA 3091D	vierquadrant	3,0%	4,4 MHz
XR 2208	vierquadrant	0,3%	8,0 MHz
XR 2228	vierquadrant		
ICL 8013	vierquadrant	0,5 → 2,0%	1,0 MHz
RTC 4200	eenquadrant	0,1%	4,0 MHz
AD 532	vierquadrant	0,5 → 1,5%	1,0 MHz
AD 533	vierquadrant	0,5 → 2,0%	1,0 MHz
AD 534	vierquadrant	0,5 → 1,5%	1,0 MHz
AD 539	vierquadrant	2,5 → 4,0%	60,0 MHz
AD 632	vierquadrant	0,5 → 1,0%	1,0 MHz
AD 538	analoge computer	0,25 → 1%	400 kHz
AD 633	vierquadrant	1,0%	1 MHz
AD 734	vierquadrant	0,1%	10 MHz
AD 834	vierquadrant	0,5%	500 MHz
LH 0094	analoge computer	0,25 → 1%	10 kHz
MPY 100	vierquadrant	0,05 → 0,5%	550 kHz
MPY 534	vierquadrant	0,015 → 1,0%	3 MHz
MPY 600	vierquadrant	0,5%	75 MHz
MPY 634	vierquadrant	0,5%	10 MHz
HA 2546	tweequadrant	1,6%	30 MHz
HA 2547	tweequadrant	1,6%	100 MHz
HA 2556	vierquadrant	1,5%	30 MHz
HA 2557	vierquadrant	1,5%	100 MHz
DIV 100	tweequadrant	0,25%	350 kHz
4302	analoge computer	0,07 → 0,5%	500 kHz

11/2.1

Achtergrond-informatie

Werkings-principe

Inleiding

Analoge vermenigvuldigers, in de vakliteratuur analog multipliers genoemd, zijn schakelingen die het algebraische produkt berekenen van twee analoge spanningen U_X en U_Y.

De spanning op de uitgang wordt gegeven door de wiskundige uitdrukking:

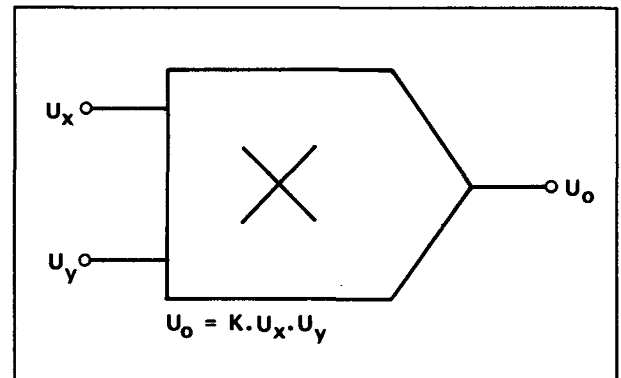
$$U_0 = K \cdot U_X \cdot U_Y$$

De *uitgangsspanning* is *gelijk* aan het produkt van beide ingangsspanningen, vermenigvuldigd met een bepaalde constante factor K. Deze factor K noemt men de schaal-factor van de schakeling. Deze constante bepaalt in wezen de versterking van de schakeling. In de praktijk kan men echter beter van verzwakking spreken, want K is steeds kleiner dan 1. Dit is noodzakelijk omdat de gebruikelijke voedingsspanningen van maximaal +/−18 V een bepaalde maximale waarde aan de uitgangsspanning U_0 opleggen. Als K groter of gelijk aan 1 zou zijn, zouden de ingangsspanningen U_X en U_Y slechts een zeer beperkt bereik kunnen hebben. In de meeste gevallen kiest men K = 0,1. zodat men op de ingangen spanningen U_X en U_Y tussen −10 en +10 V kan aanleggen. De maximale uitgangsspanning wordt dan:

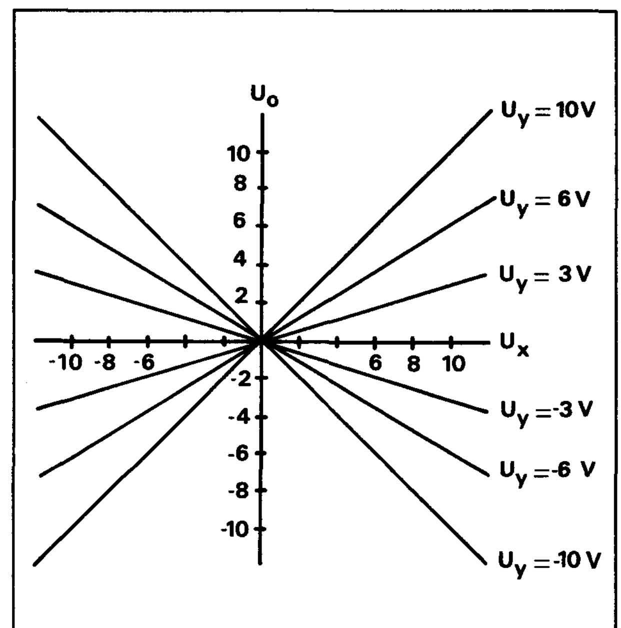
$$U_0 = 0{,}1 \cdot 10 \cdot 10 = 10\,V$$

Symbool en transfer-karakteristiek

Het symbool van een analoge vermenigvuldiger is getekend in figuur 11/2.1-1.

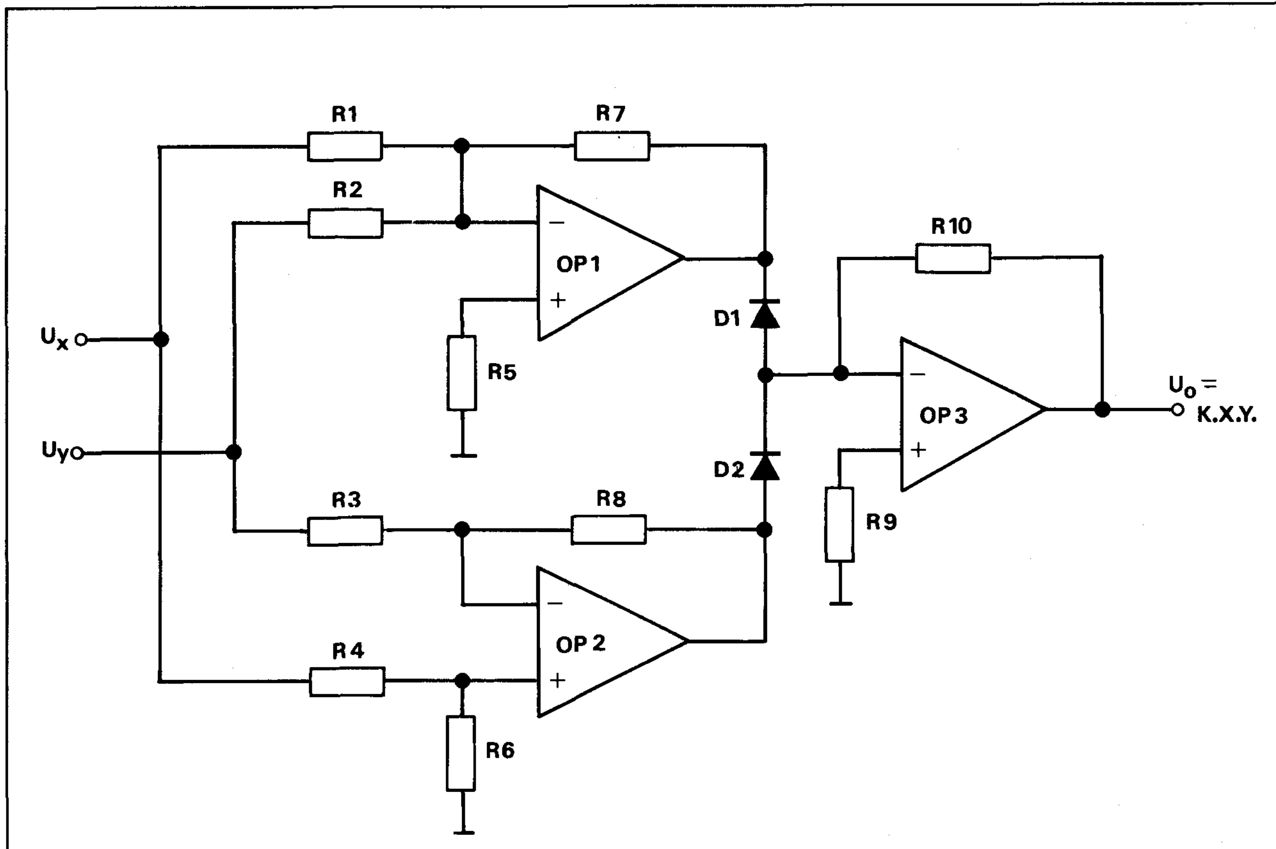


Figuur 11/2.1-1: Symbool van de analoge vermenigvuldiger.



Figuur 11/2.2-2: De ideale transfer- of overdracht-karakteristiek waaruit het verband tussen de in- en de uitgangsspanningen volgt.

2.1 Achtergrond-informatie



Figuur 11/2.1-3: Deze voorloper van de moderne vermenigvuldigers maakt gebruik van de ongeveer quadratisch verlopende karakterstieken van een diode bij lage spanningen.

Het verband tussen de in- en de uitgangsspanningen van een ideale analoge vermenigvuldiger is getekend in figuur 11/2.1-2.

De ingangsspanningen kunnen zowel positief als negatief zijn en de schakeling berekent netjes het algebraische produkt van de momentele grootte van beide ingangsspanningen. Dat betekent dat twee negatieve spanningen op de ingangen een positieve uitgang tot gevolg hebben. Als de schakeling aan deze karakteristiek voldoet zegt men dat de analoge vermenigvuldiger in **vier quadranten** werkt. De schakeling voldoet aan alle punten die in de vier delen of quadranten van het assenstelsel $U_0 = f(U_X, U_Y)$ kunnen getekend worden.

De meeste praktische vermenigvuldigers werken in de vier quadranten. Er zijn echter ook enige schakelingen op de markt die in slechts **twee quadranten** werken. Hierbij mogen beide of soms een ingangsspanning niet negatief worden.

Evolutie van de analoge vermenigvuldigers

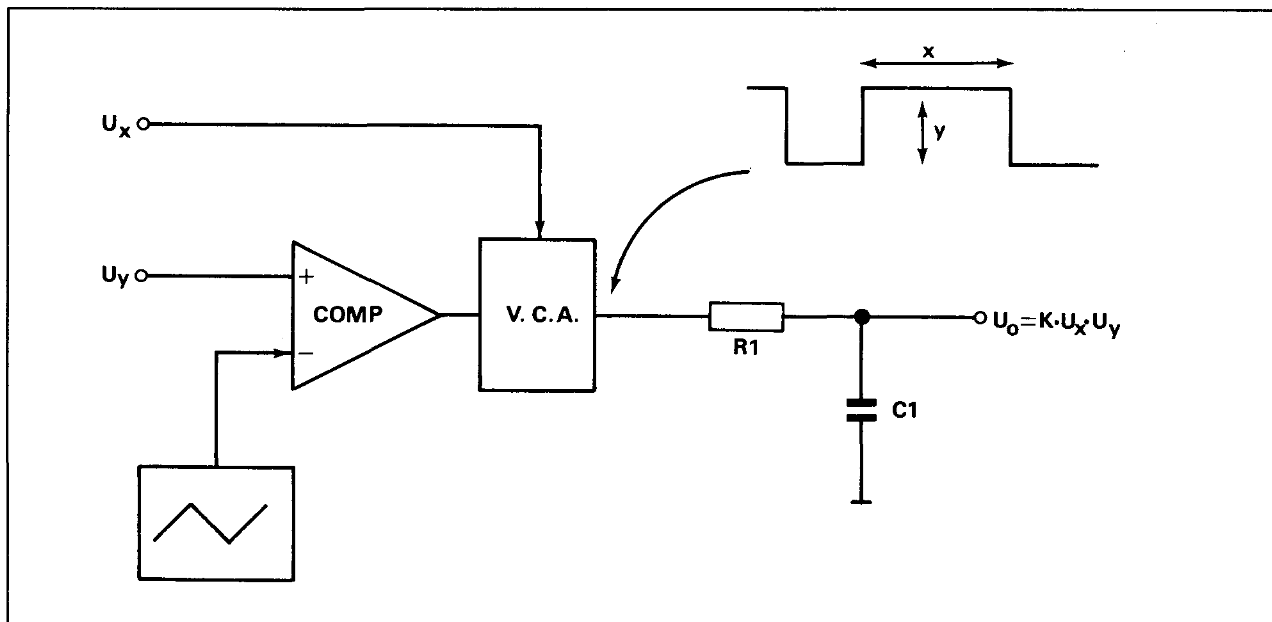
De allereerste analoge schakelingen die het produkt van twee spanningen konden berekenen maakten gebruik van de niet lineaire karakteristiek van een diode.

Deze schakelingen vormden een elektronisch equivalent van de wiskundige uitdrukking:

$$(x + y)^2 - (x - y)^2 = 4xy.$$

Met behulp van twee operationele versterkers OP1 en OP2, geschakeld volgens figuur 11/2.1-3, werd eerst de som en het verschil van de twee te vermenigvuldigen spanningen U_X en U_Y berekend. De uitgangsspanningen van deze schakelingen werden via de niet lineaire

2.1 Achtergrond-informatie



Figuur 11/2.1-4: Het moduleren van de breedte en de grootte van een vierkantsgolf door de twee ingangsspanningen levert na integratie een gelijkspanning op waarvan de waarde evenredig is met het produkt van beide ingangsspanningen.

karakteristieken van twee identieke dioden D1 en D2 aan een verschilversterker toegevoerd. De kwadratische karakteristieken van de dioden voor kleine spanningen zorgden voor de kwadrateringen van beide factoren, de verschilversterker berekende het uiteindelijke produkt
$4 \cdot U_X \cdot U_Y \cdot$
Deze schakelingen werden veelvuldig toegepast in de analoge computers die voor de ontwikkeling van digitale computers werden gebruikt om wiskundige formules en fysische verschijnselen door middel van elektronische schakelingen te simuleren.

Een twee poging analoge vermenigvuldigers samen te stellen is blokschematisch geschetst in figuur 11/2.1-4. Een van de ingangsspanningen wordt in een comparator vergeleken met een driehoekvormig verlopende spanning. Aan de uitgang van de schakeling verschijnt een blokspanning waarvan de verhouding tussen 'H' en 'L', de duty-cycle, afhankelijk is van de grootte van de ingangsspanning. De amplitude van deze blokspanning wordt in een spanningsafhankelijke versterker gemoduleerd door de tweede ingangsspanning. Op de uitgang van deze V.C.A. staat een blokspanning waarvan de karakteristieke grootheden, de amplitude en de duty-sycle, afhankelijk zijn van de twee ingangsspanningen. Deze blokspanning wordt geïntegreerd door middel van een RC laagdoorlaatfilter. Over de condensator ontstaat een gemiddelde gelijkspanning waarvan de waarde zowel door de grootte als door de duty-sycle van de blokspanning bepaald wordt.

De Gilbert vermenigvuldiger

De moderne geïntegreerde analoge vermenigvuldigers werken allemaal volgens een principiële schakeling die door B. Gilbert werd uitgewerkt en gepubliceerd in het tijdschrift 'IEEE Journal of Solid State Circuits' van december 1968.

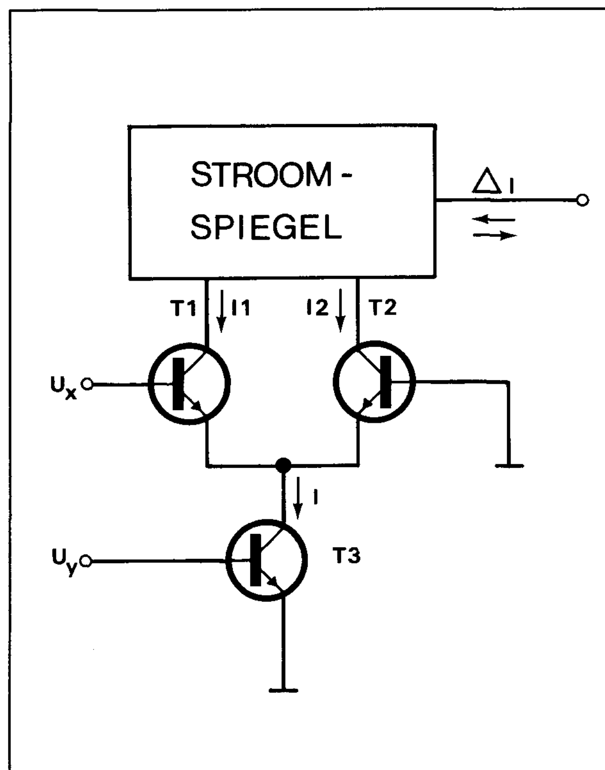
De werking van de schakeling is zeer ingewikkeld en in feite alleen te doorgronden als men goed kan werken met hogere wiskunde en inzicht heeft in de wiskundige vergelijkingen waaraan transistoren voldoen.

2.1 Achtergrond-informatie

In dit kader wordt volstaan met een zeer oppervlakkige benadering en berekening van de werking van de schakeling.

De meest primitieve uitvoering van deze schakeling is getekend in figuur 11/2.1-5. Twee transistoren T1 en T2 worden gestuurd uit een zogenaamde stroomspiegel. Dat is een schakeling die in staat is het verschil ΔI (uitgesproken 'delta I') te berekenen tussen de twee collectorstromen I_1 en I_2. De twee collectorstromen worden opgeteld en doorlopen gezamenlijk als I de derde transistor T3. De twee te vermenigvuldigen spanningen worden aangeboden aan de basis van respectievelijk T1 en T3. U_X kan zowel positief als negatief zijn, U_Y moet groter zijn dan 0,7 V. Deze primitieve schakeling is bijgevolg een tweequadrant vermenigvuldiger!

Aangetoond moet worden dat de verschil-



Figuur 11/2.1-5: De meest fundamentele schakeling van een analoge vermenigvuldiger volgens het schema van Gilbert opgebouwd.

stroom ΔI zowel afhankelijk is van U_X als van U_Y en dat deze afhankelijkheid bovendien voldoet aan een produkt-wet. De meest fundamentele eigenschap van de algemene produkt-formule:

$$\Delta i = k \cdot U_X \cdot U_Y$$

is dat het resultaat nul is als een van de twee beduidende factoren U_X of U_Y nul is.

Als U_Y gelijk is aan nul volt zal transistor T3 sperren. De collectorstroom I is gelijk aan nul en bijgevolg zijn ook I_1 en I_2 gelijk aan nul. Wij sluiten het exeptionele geval uit waarbij $I_1 = -I_2$. De stromen kunnen immers alleen in de getekende richtingen door de transistoren vloeien.

Als U_X gelijk is aan nul bestaat er geen spanningsverschil tussen de potentialen op de basissen van de transistoren T1 en T2. Als beide halfgeleiders volledig identieke karakteristieken hebben zullen er bij gelijke U_{be}'s ook gelijke collectorstromen vloeien. $I_1 = I_2$, het verschil ΔI is bijgevolg ook nu nul.

De verschilstroom ΔI is afhankelijk van zowel U_X als U_Y en voldoet bovendien aan de fundamentele eigenschap van een produkt-relatie. Men kan dus aannemen dat er een volgens een produktwet verlopende relatie bestaat tussen enerzijds U_X en U_Y en anderzijds ΔI.

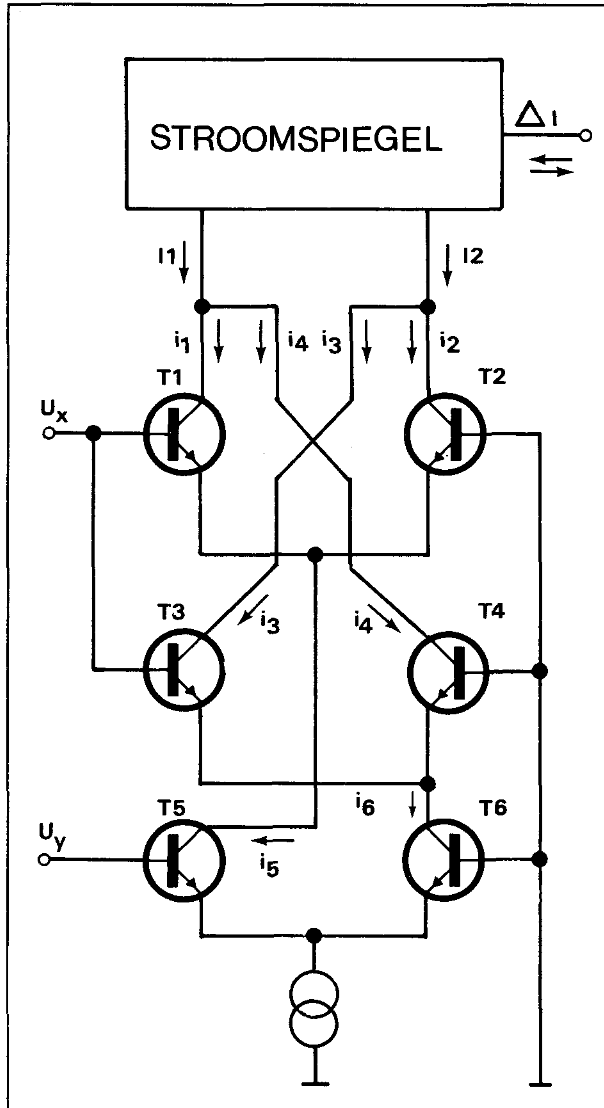
De vierquadrant schakeling volgens Gilbert

Het tweequadrant karakter van het besproken systeem kan worden omgezet in een vierquadrant werking door de schakeling uit te breiden tot het schema van figuur 11/2.1-6.

Er zijn nu drie verschilversterkers met gemeenschappelijke emitter aanwezig, de rechter ingangen van de versterkers gaan naar de massa. Beide ingangsspanningen kunnen nu zowel positief als negatief zijn.

Als U_X gelijk is aan nul, dan zijn T1 en T2 en T3 en T4 identiek ingesteld. De collectorstromen zijn gelijk, zodat:

2.1 Achtergrond-informatie



Figuur 11/2.1-6: De uitgebreide Gilbert-schakeling van het assenstelsel werkt in de vier quadranten van het assenstelsel en vormt op de een of andere manier de basis van alle geïntegreerde analoge vermenigvuldigers.

$i_1 = i_2$ en $i_3 = i_4$.

Dus:

$i_1 + i_4 = i_2 + i_3$

Verder geldt:

$I_1 = i_1 + i_4$ en $I_2 = i_3 + i_2$

Besluit:

$I_1 = I_2$, zodat $\Delta I = 0$.

Als U_Y gelijk is aan nul zijn T5 en T6 identiek ingesteld. Dat betekent dat zowel de collector-spanningen als stromen aan elkaar gelijk zijn. Dus:

$i_5 = i_6$, $i_1 = i_3$ en $i_2 = i_4$.

Maar omdat:

$i_5 = i_1 + i_2$ en $i_6 = i_3 + i_4$

is:

$i_1 + i_2 = i_3 + i_4$.

Men kan besluiten dat:

$i_1 + i_4 = i_3 + i_2$ of $I_1 = I_2$.

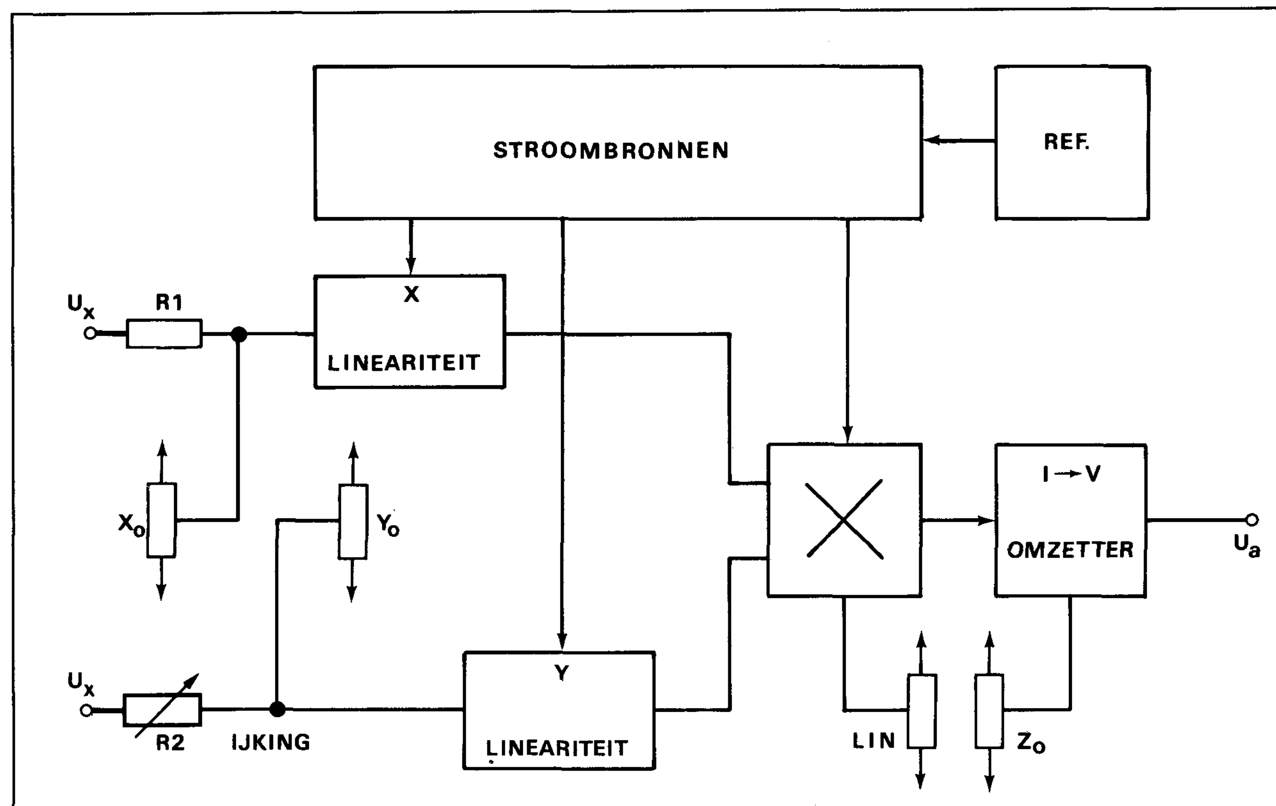
Ook nu levert de stroomspiegel een verschilstroom ΔI van nul.

Praktische schakelingen

Compensatie-schakelingen

Bij de bespreking van de theoretische schema's werd uitgegaan van de absolute gelijkheid van de twee transistoren uit een verschilversterker met gemeenschappelijke emitter. In de praktijk zullen deze halfgeleiders verschillen en er zullen, net zoals in de ingangsversterker van een operationele versterker, offset-verschijnselen optreden die gecompenseerd moeten worden.
Daarnaast moet het niet lineaire verband tussen de grootte van de basis-emitterspanning en de collectorstroom van de diverse transistoren gecompenseerd worden.
Het praktische blokschema van een geïntegreerde analoge vermenigvuldiger is dan ook meestal uit zes fundamentele blokken samengesteld, onderling verbonden volgens het schema van figuur 11/2.1-7. De twee te vermenigvuldigen analoge spanningen worden via weerstanden R1 en R2 aan de

2.1 Achtergrond-informatie



Figuur 11/2.1-7: Het principiële interne blokschema van een moderne geïntegreerde analoge vermenigvuldiger.

lineariserings-trappen aangeboden. De uitgangen sturen de eigenlijke vermenigvuldiger volgens Gilbert. De verschilstroom van de in dit blok aanwezige stroomspiegel wordt in een uitgangsspanning omgezet door middel van een stroom naar spanning omzetter. De diverse trappen van de schakeling worden ingesteld door bias-stromen die door enige stroombronnen geleverd worden. De grootte van deze stromen wordt bepaald door de waarde van een referentie-spanning die in de meeste gevallen in het IC zelf aanwezig is.

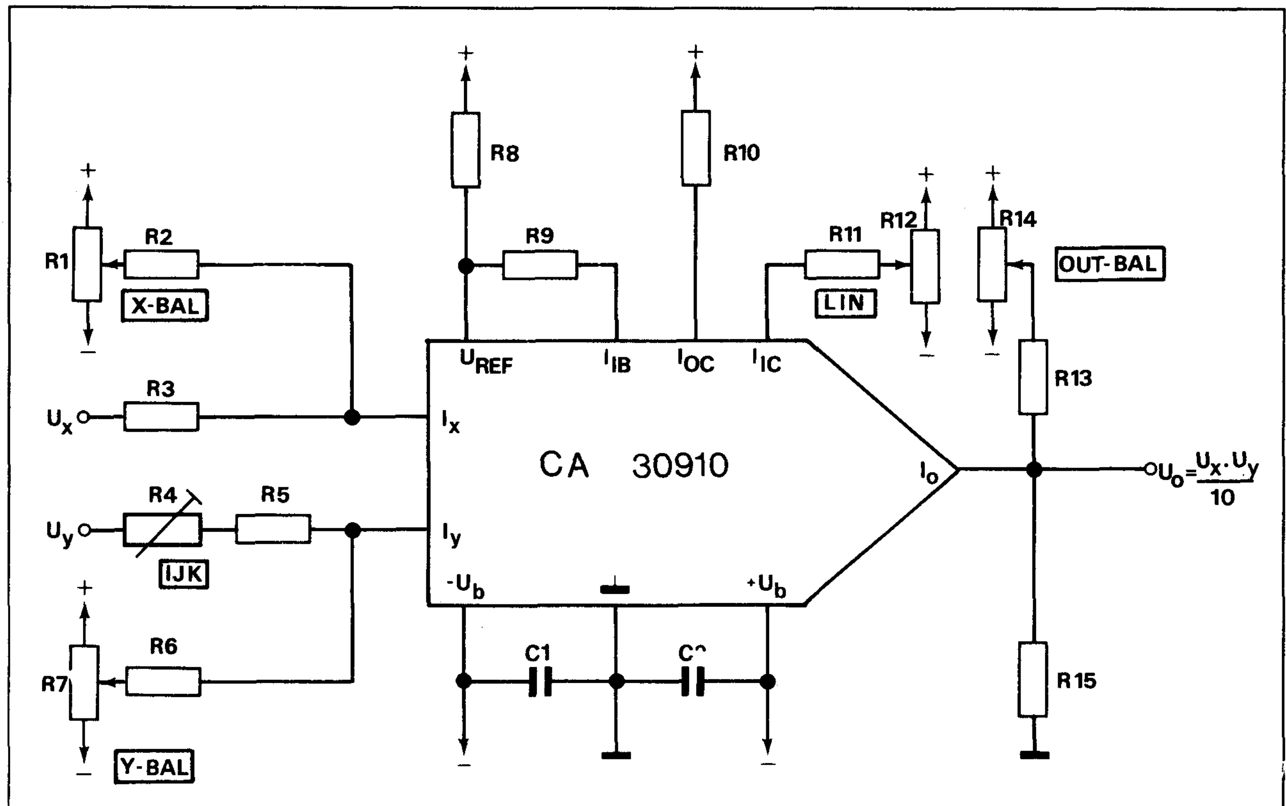
De instelpotentiometers X_0, Y_0 en Z_0 dienen voor het compenseren van de offset's van de diverse verschilversterkers. De bias-stroom van de eigenlijke Gilbert-schakeling kan worden aangevuld met een klein stroompje dat geleverd wordt door de instelpotentiometer 'LIN'. Met deze instelling kan men de schakeling op maximale lineariteit over het volledige bereik instellen.

Merk op dat de beide ingangsspanningen door middel van weerstanden aan de eigenlijke schakeling worden aangeboden.
Sommige analoge vermenigvuldigers hebben stroomingangen en het is dan absoluut noodzakelijk de ingangsspanningen om te zetten in ingangsstromen door het opnemen van serieweerstanden tussen de ingangen van het IC en de ingangsspanningen. Een van de serieweerstanden is als instelpotentiometer uitgevoerd. Met behulp van dit onderdeel is het mogelijk de schakeling te ijken. In feite komt dit neer op het afregelen van de constante k op de exacte waarde van 0,1.

Afregel-procédure

De schakeling rond het multiplier-IC bevat in de meeste gevallen dus niet minder dan vijf instelpotentiometers! Het afregelen van de schakeling op maximale lineariteit en schaalijking is echter niet moeilijk, maar men moet wel een bepaalde afregel-volgorde in acht

2.1 Achtergrond-informatie



Figuur 11/2.1-8: Dit praktisch schema van een vermenigvuldiger rond het RCA IC CA 3091 met alle afregel- en instelpotentiometers wordt als basis gebruikt voor het verklaren van de afregel-procédure.

nemen. Deze procédure wordt besproken aan de hand van een praktische vermenigvuldigerschakeling opgebouwd rond de CA 3091 A van RCA.

Het schema van deze schakeling is getekend in figuur 11/2.1-8.

Voor het afregelen van de schakeling heeft men een sinus-oscillator, een oscilloscoop en een digitale voltmeter nodig. Hoewel er van type tot type enige verschillen bestaan in de externe schakeling rond het IC zal men de ingetekende afregelpotentiometers zowat steeds terug vinden. Ook de beschreven afregel-procédure is in grote lijnen gestandaardiseerd.

De afregeling wordt in een aantal stappen besproken.

- leg de U_X-ingang aan de massa en sluit een 1kHz sinus met een top tot top waarde van 20 V aan op de Y-ingang. Zet de oscilloscoop op de uitgang van de vermenigvuldiger. Regel de X-BAL (R2) en de LIN (R12) af op minimaal signaal op de uitgang. Deze twee regelingen beïnvloeden elkaar wederzijds, men moet de afregeling enige malen herhalen.
- zet de sinus op de X-ingang en leg de Y-ingang aan de massa. Regel de Y-BAL potentiometer R7 af op minimaal signaal op de uitgang.
- leg beide ingangen aan de massa en regel de OUT-BAL R14 op 0 V gelijkspanning op de uitgang.
- verbind beide ingangen met een gelijkspanning van 8 V. Regel de IJK-potentiometer R4 af tot er op de uitgang een gelijkspanning staat die precies gelijk is aan een tiende van het kwadraat van de ingangsspanning, in dit geval dus 6,4 V.

2.1 Achtergrond-informatie

Toepassingen van analoge vermenigvuldigers

Delen, kwadrateren, worteltrekken

Deze wiskundige bewerkingen kunnen tot een vorm van vermenigvuldigen worden herleid en het is dus mogelijk een analoge vermenigvuldiger al dan niet in combinatie met een inverterende operationele versterker te gebruiken voor het berekenen van het quotiënt van twee spanningen en het bepalen van het kwadraat van of de wortel uit een analoge ingangsspanning. Hoewel deze toepassingen op zich niet zo interessant zijn, kan men deze elektronische equivalenten van wiskundige berekeningen uitstekend gebruiken om bepaalde ingewikkelde fysische grootheden die voldoen aan een wiskundige vergelijking, zoals de effectieve waarde van een spanning, te meten.

Meten van vermogen

Als men aan één ingang van een analoge vermenigvuldiger de spanning over een verbruiker aanlegt en aan de tweede ingang aan spanning die een maat is voor de stroom die door de verbruiker vloeit, dan zal de uitgangsspanning rechtstreeks het door de verbruiker gedissipeerde vermogen aangeven. Dit is de enige manier om rechtstreeks volgens de formule:

$$P = U \cdot I$$

het vermogen te meten. Alle andere methoden werken volgens de formule:

$$P = \frac{U^2}{Z_L}$$

en deze meting houdt geen rekening met de wijzigingen die in de waarde van de impedantie Z_L van de verbruiker kunnen optreden als bijvoorbeeld de frequentie van het signaal varieert.

Automatische amplitude-regelingen

Als men aan een van de ingangen van een analoge vermenigvuldiger een sinussignaal legt en de tweede aansluit op een gelijkspanning, dan zal de spanning op de uitgang gelijk worden aan:

$$U_o = k \cdot \varphi \cdot U_1$$

De factor φ staat voor de grootte van de regelspanning. De schakeling vormt dus een spanningsgestuurde versterker. Er bestaan eenvoudigere schakelingen voor dit doel, maar deze hebben meestal een kleinere bandbreedte dan een VCA met een analoge vermenigvuldiger samengesteld.

Modulatoren

Een rechtstreeks gevolg van de vorige toepassing! Als men immers de gelijkspanning op de tweede ingang vervangt door een laagfrequent signaal en op de eerste ingang een draaggolf aansluit, dan zal er op de uitgang van de vermenigvuldiger een in amplitude gemoduleerd signaal ontstaan.

Berekenen van de effectieve waarde van een wisselspanning

De effectieve waarde van een wisselspanning is een zeer belangrijke grootheid, omdat zij gebruikt kan worden voor het berekenen van het vermogen dat deze spanning in een verbruiker dissipeert. De effectieve waarde van een wisselspanning is gelijk aan de vierkantswortel uit het gemiddelde kwadraat van de spanning. Door middel van twee analoge vermenigvuldigers, de ene geschakeld als kwadrateerder en de andere als worteltrekker, kan men de effectieve waarde van zelfs de meest grillig gevormde wisselspanning berekenen.

Frequentie-verdubbeling

Met een analoge vermenigvuldiger kan men de frequentie van een sinusvormige wisselspanning verdubbelen. Dit kan het meest eenvoudig wiskundig aangetoond worden.

Als men beide ingangen met dezelfde spanning verbindt, dan wordt het signaal op de uitgang gelijk aan:

$$U_o = k \cdot U_{in} \cdot U_{in} = k \cdot U_{in}^2.$$

Als deze formule wordt toegepast op een zuiver sinusoidale spanning wordt de uitgangs-

spanning gegeven door de uitdrukking:

$U_o = k \cdot U^2 \cdot \cos^2 \omega t \cdot ((k \cdot U^2)/2) \cdot (1 + \cos 2\omega t)$

Op de uitgang ontstaat dus een op een gelijkspanning gesuperponeerde wisselspanning met een frequentie die gelijk is aan precies de dubbele waarde van de frequentie van het ingangssignaal.

Als de schakeling ideaal werkt zijn er bovendien geen harmonischen van de basis-frequentie in het uitgangssignaal aanwezig. De analoge vermenigvuldiger is de enige schakeling die in staat is de frequentie van een signaal te verdubbelen zonder gebruik te maken van zeer uitgebreide filter-schakelingen en versterkers.

Definities

Analoge vermenigvuldigers worden gedefiniëerd door een aantal specificaties, die typisch zijn voor dit soort schakelingen en hier in het kort besproken worden.

Niet lineariteit (nonlinearity)
De maximale afwijking op de uitgangsspanning van de theoretische rechte lijn uit de bundel transfer-karakteristieken van figuur 11/2.1-2.
Deze grootheid wordt uitgedrukt in % van de volle schaal.

Doorkoppeling (feedthrough)
De top tot top waarde van de spanning die op de uitgang gemeten wordt als een van de ingangen met de massa verbonden is. Deze parameter wordt hoofdzakelijk bepaald door de interne offset's van de diverse verschilversterkers en kan geminimaliseerd worden met de externe instelpotentiometers.

Offset-spanningen (offset voltages)
De Gilbert-schakeling heeft drie differentiële versterkers met gemeenschappelijke emitters en iedere versterker heeft een eigen offset. De transfer-karakteristiek van een praktische analoge vermenigvuldiger wordt gegeven door de uitdrukking:

$U_o = K \cdot ((U_{X+\varphi X}) \cdot (U_Y + \varphi)) + \varphi_o$

Deze drie offset-spanningen φ moeten op de beschreven manier tijdens het afregelen en ijken van de schakeling worden gecompenseerd.

Schaalfactor (scale factor)
De constante K die de verhouding tussen de in- en de uitgangsspanningen bepaalt. Deze factor is meestal gelijk aan 0,1 V^{-1} en kan extern worden afgeregeld.

Dynamisch bereik (input dynamic range)
De maximale piekspanning op de ingangen waarbij de lineariteit van de schakeling nog binnen de opgegeven specificaties valt.

Bandbreedte (bandwidth)
De bandbreedte van een analoge vermenigvuldiger wordt (helaas) op verschillende manieren gedefinieerd.

- 3 dB bandbreedte
  De frequentie waarbij de uitgangsspanning van de schakeling gedaald is tot 3 dB onder de waarde bij 20 Hz.
- 3° bandbreedte
  De frequentie waarbij de fase-verschuiving tussen de in- en de uitgangen gelijk is geworden aan 3°.
- 1% absolute fout bandbreedte
  De frequentie waarbij de fase-vector fout tussen de ideale en echte uitgangsspanning is opgelopen tot 1%.
- transconductance bandbreedte
  De frequentie waarbij de transconductantie van de schakeling met 3 dB gedaald is ten opzichte van de waarbij bij 20 Hz. Deze bandbreedte definieert het bruikbare frequentiebereik voor amplitude modulatie en fase-detectie toepassingen.

2.1 Achtergrond-informatie

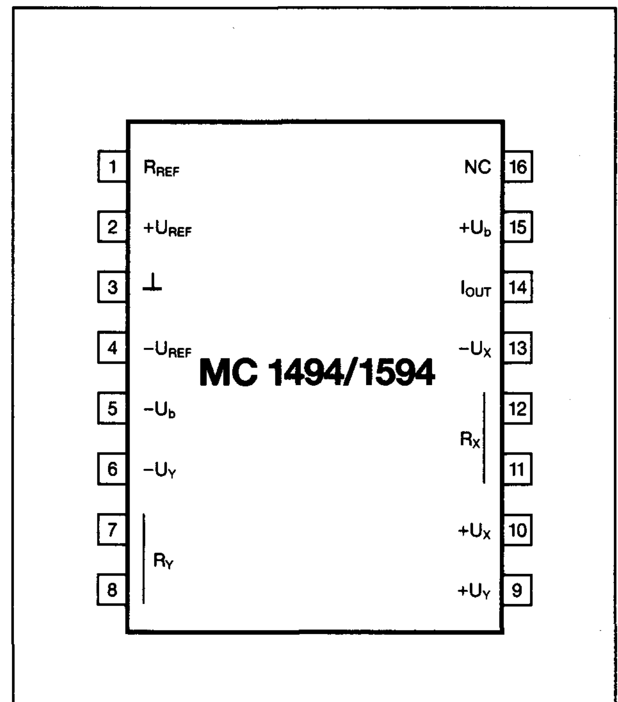
11/2.2

Type-beschrijving

MC 1494 L

Vierquadrant, 1,0%, 10 MHz

Vermenigvuldiger met twee differentiële spannings-ingangen en een stroom-uitgang. Door de differentiële structuur van de ingangen wordt het compenseren van de offset vereenvoudigd. Het IC heeft een ingebouwde stabilisator, die twee gestabiliseerde spanningen van ongeveer +/-4,3 V levert die gebruikt kunnen worden voor het voeden van de offset-potentiometers. Deze stabilisator levert de bias-stromen voor de interne schakelingen. Deze kunnen extern worden ingesteld door middel van de aansluiting R_{REF}. Op de twee ingangen kunnen lineariserings-weerstanden R_Y en R_X worden aangesloten.

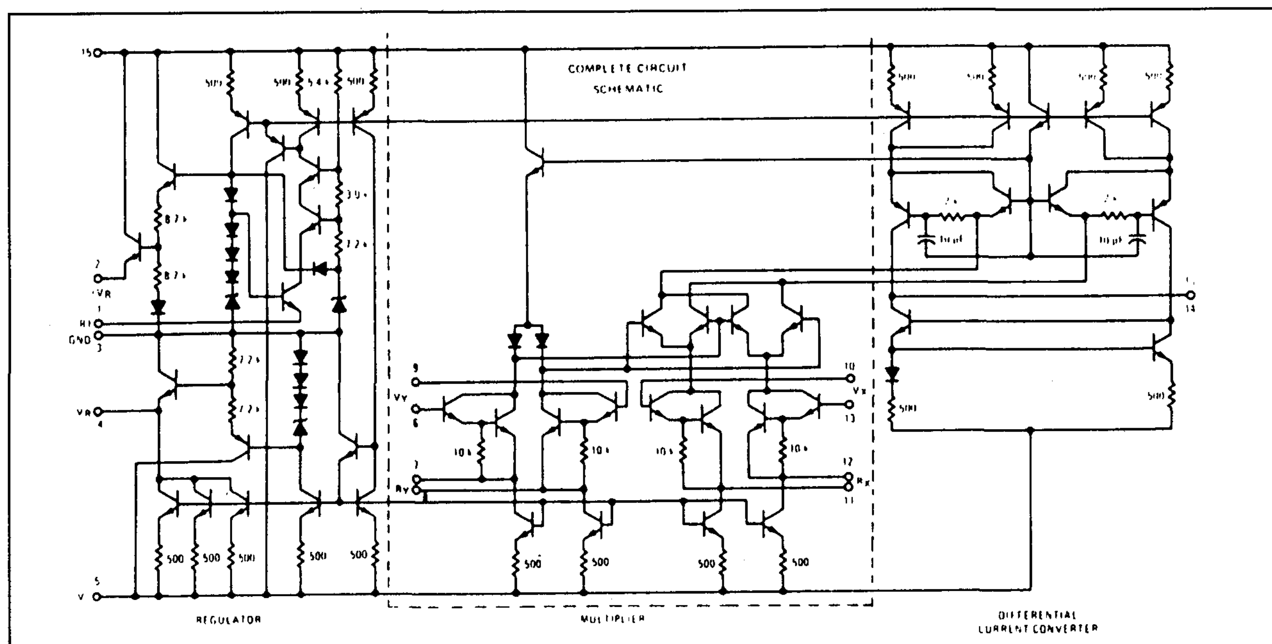


Figuur 11/2.2-1: Aansluitgegevens MC 1494/1594.

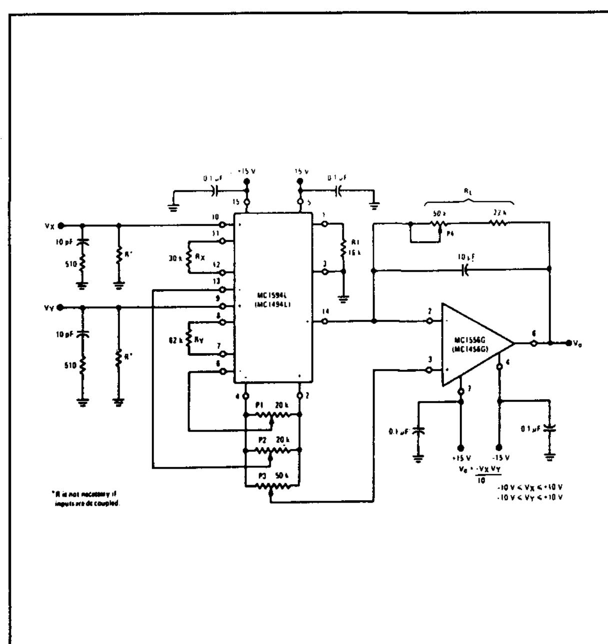
Technische gegevens

- fabrikant: Motorola
- behuizing: DIL-16
- aansluitgegevens: figuur 11/2.2-1
- intern schema: figuur 11/2.2-2
- algemene parameters:
  - voedingsspanningen: +/–12 V typisch
    +/–18 V max.
  - voedingsstromen: +/–12 mA max.
  - referentie-spanningen:
    +/–4,3 V typisch
    +/–5,0 V max.
  - temp. coëf. referentie: 0,03 mV/°C
- ingangs-parameters:
  - spanningsbereik: +/–10 V
  - offsetspanning:
    0,2 V typisch
    2,5 V max.
  - impedantie: 300 MΩ
  - biasstroom: 2,5 µA max.
- uitgangs-parameters:
  - spanningsbereik: +/–10 V
  - impedantie: 850 kΩ
  - offsetspanning: 1,2 V typisch
    2,5 V max.
- nauwkeurigheids-parameters:
  - lineariteit: +/–0,5% typisch
    +/–1,3% max.
  - temp. coëf.: 0,09%/°C
  - 3 dB bandbreedte: 1,0 MHz
  - 3° bandbreedte: 240 kHz
  - 1% bandbreedte: 30 kHz

2.2 Type-beschrijving



Figuur 11/2.2-2: Volledig uitgewerkt inwendig schema van de MC 1494.

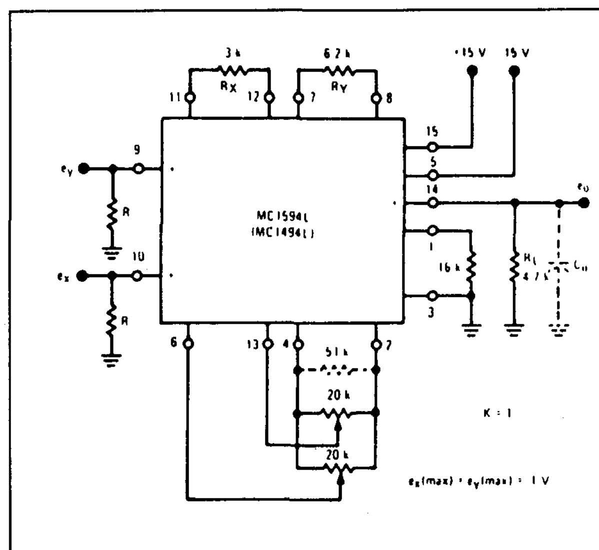


Figuur 11/2.2-3: Basis-schema vermenigvuldiger met MC 1494 met externe compensatie.

Voorbeeld-schakelingen

– figuur 11/2.2-3:

Basis-schema van een nauwkeurige vermenigvuldiger voor gelijkspanningen. De



Figuur 11/2.2-4: Vermenigvuldiger voor wisselspanningssignalen.

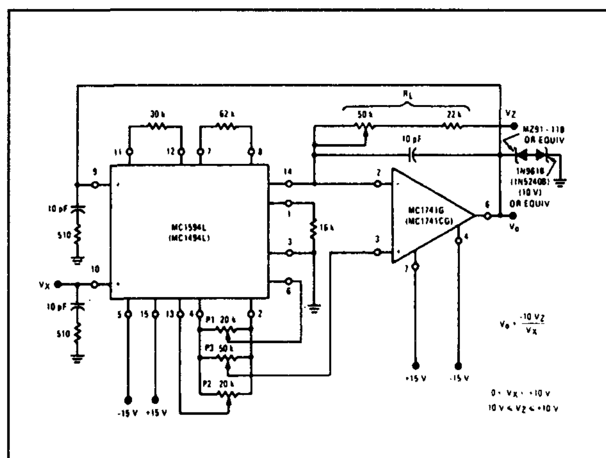
schaal-factor is gelijk aan 0,1 en wordt ingesteld met P4. De waarde van de lineariseringsweerstanden R_X en R_y wordt in kΩ gegeven door de uitdrukking:

$R_X >= 3 \cdot U_X$

$R_Y >= 6 \cdot U_Y$

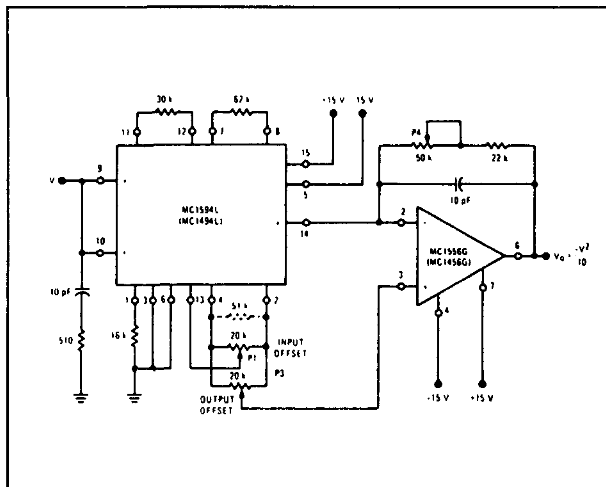
2.2 Type-beschrijving

– figuur 11/2.2-4:
Vermenigvuldiger voor wisselspanningen, bruikbaar voor modulatie, frequentie-verdubbeling, etc. De uitgangsstroom wordt nu omgezet in een spanning door pen 14 te belasten met een weerstand.



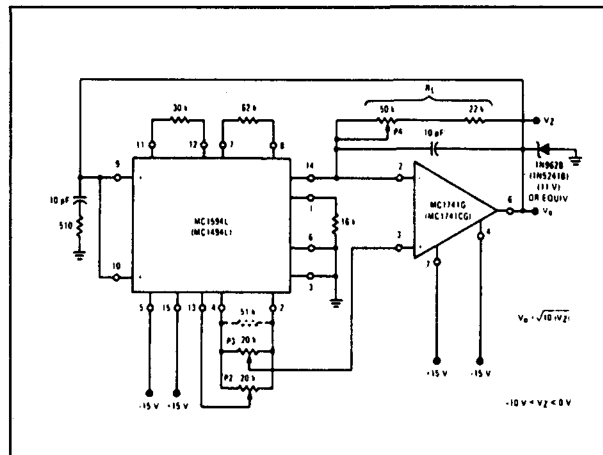
Figuur 11/2.2-5: Deler-schakeling met MC 1494.

– figuur 11/2.2-5:
Praktische schakeling van een analoge deler. Bij deze schakeling moet men er voor zorgen dat de waarde van U_X nooit gelijk aan of kleiner dan nul kan worden, omdat dan het gevaar bestaat dat de schakeling in een latch-up blijft vast hangen!



Figuur 11/2.2-6: Kwadrateer-schakeling met MC 1494.

– figuur 11/2.2-6:
Kwadrateer-schakeling. Een van de offset-compensaties van de ingangen kan vervallen.



Figuur 11/2.2-7: Worteltrek-schakeling met MC 1494.

– figuur 11/2.2-7:
Vierkantswortel-schakeling. De ingangsspanning U_Z moet kleiner zijn dan nul, zoniet kunnen latch-up problemen ontstaan, waardoor de schakeling vastloopt tegen een van de voedingsspanningen en in deze houding volhardt tot men de voedingsspanning uitschakelt.

MC 1594 L

vierquadrant, 0,5%, 1,0 MHZ

Verbeterde versie van de MC 1494 L, echter pen-compatible.

Technische gegevens

- fabrikant: Motorola
- behuizing: DIL-16
- aansluitgegevens: figuur 11/2.2-1
- intern schema: figuur 11/2.2-2
- ingangs-parameters:
  - spanningsbereik: +/–10 V
  - offsetspanning: 0,1 V typisch, 1,6 V max.
  - biasstroom: 1,5 μA max.
- uitgangs-parameters:
  - offsetspanning: 0,8 V typisch, 1,6 V max.

2.2 Type-beschrijving

–lineariteit: +/–0,3% typisch
+/–0,5% max.

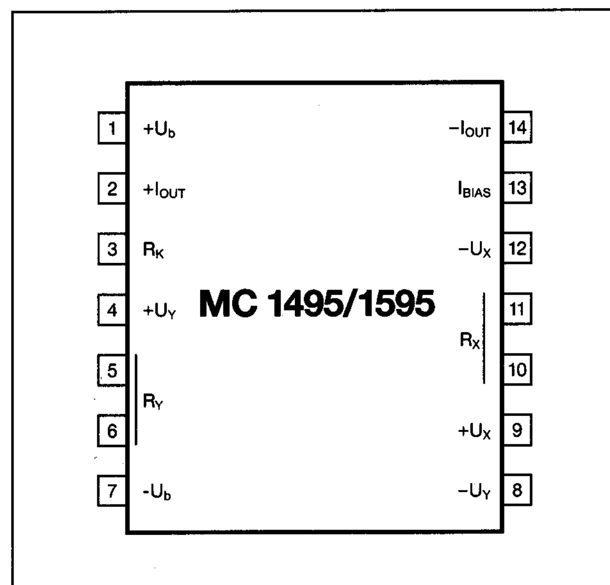
Voor de overige parameters en voorbeeldschakelingen wordt verwezen naar de MC 1494 L.

MC 1495 L

vierquadrant, 2,0%, 3,0 MHz

Vermenigvuldiger die alleen de basis-schakelingen van de Gilbert-vermenigvuldiger en de stroomspiegel bevat. Op de twee ingangen kunnen lineariserings-weerstanden R_Y en R_X worden aangesloten. De bias-stroom wordt extern bepaald door een weerstand op pen 13. De schaal-factor is afhankelijk van de waarde van een weerstand op pen 3.

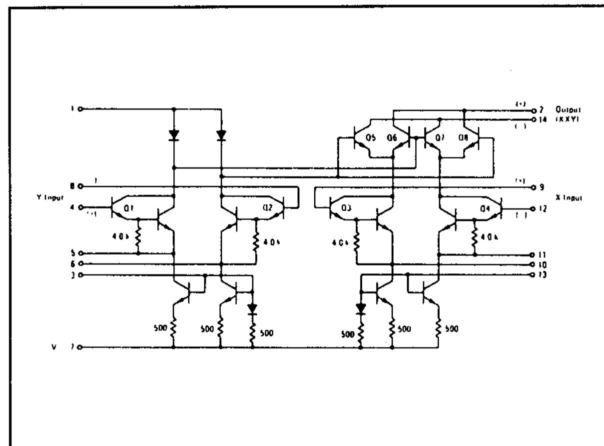
De positieve voedingsspanning moet via een serie-weerstand op pen 1 worden aangesloten.



Figuur 11/2.2-8: Aansluitgegevens MC 1495/1595.

Technische gegevens

- fabrikant: Motorola
- behuizing: DIL-14
- aansluitgegevens: figuur 11/2.2-8
- intern schema: figuur 11/2.2-9
- algemene parameters:
  - voedingsspanningen: +/–15 V typisch
    +32 V, –18 V max.



Figuur 11/2.2-9: Intern schema MC 1495.

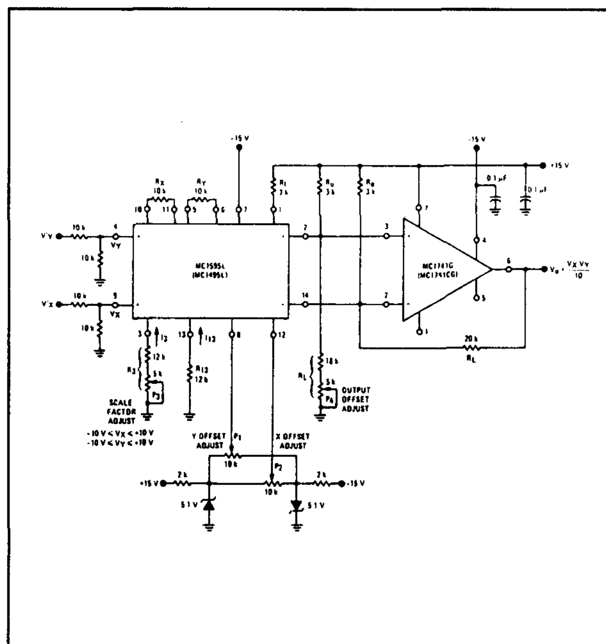
- voedingsstromen: +/–7 mA max.
- ingangs-parameters:
  - spanningsbereik: +/–10 V
  - offsetstroom: 0,4 µA typisch
    2,0 µA max.
  - impedantie: 20 MΩ
  - biasstroom: 12 µA max.
- uitgangs-parameters:
  - spanningsbereik: +/–14 V
  - impedantie: 300 kΩ
  - offsetstroom: 20 µA typisch
    100 µA max.
- nauwkeurigheids-parameters:
  - lineariteit: +/–1,0% typisch
    +/–2,0% max.
  - temp. coëf.: 20 nA/°C
  - 3 dB bandbreedte: 3,0 MHz
  - 3° bandbreedte: 750 kHz
  - 1% bandbreedte: 30 kHz
  - transcond. bandbreedte: 80 MHz

Voorbeeld-schakelingen

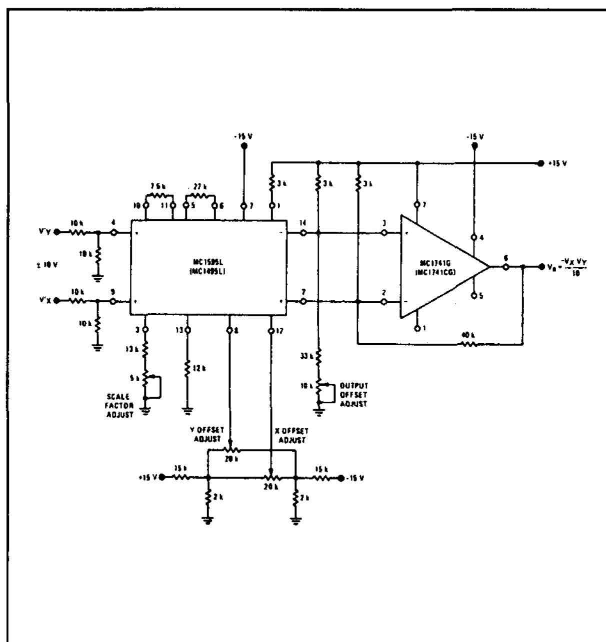
– figuur 11/2.2-10:
Basis-schema van een nauwkeurige vermenigvuldiger voor gelijkspanningen. De schaal-factor is gelijk aan 0,1 en wordt ingesteld met de instelpotentiometer van 5 kΩ.

– figuur 11/2.2-11:
Vermenigvuldiger waarbij de uitgangsspanning niet geïnverteerd is en dus rechtstreeks het algebraische produkt van beide ingangsspanningen geeft.

2.2 Type-beschrijving

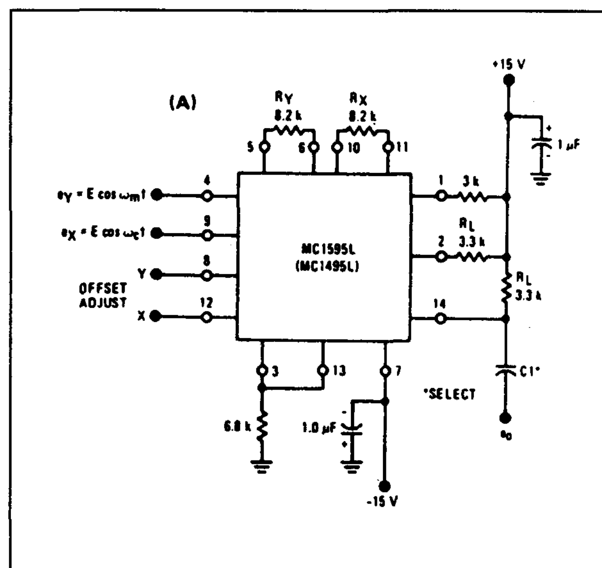


Figuur 11/2.2-10: Basis-schema nauwkeurige vermenigvuldiger met MC 1495.



Figuur 11/2.2-11: Alternatieve vermenigvuldigingsschakeling, die een uitgangsspanning met wiskundig de juiste polariteit aflevert.

– figuur 11/2.2-12:
Frequentie-verdubbelaar voor ingangssignalen met een top tot top waarde kleiner dan



Figuur 11/2.2-12: Frequentie-verdubbelaar met MC 1495.

5 V. De condensator C1 scheidt de sinusspanning op de uitgang van de gelijkspanningscomponent.

– figuur 11/2.2-13:
Gebalanceerde meng-schakeling (modulator), bruikbaar voor amplitude modulatie toepassingen, waarvan de modulatie-diepte tot 100% instelbaar is.

– figuur 11/2.2-14:
Spanningsgestuurde verzwakker, waarvan de uitgangsamplitude lineair afhankelijk is van de grootte van de gelijkspanning op de U_c-ingang. Voor een stuurspanning van 1 V bedraagt de versterking van de schakeling 0 dB.

MC 1595 L

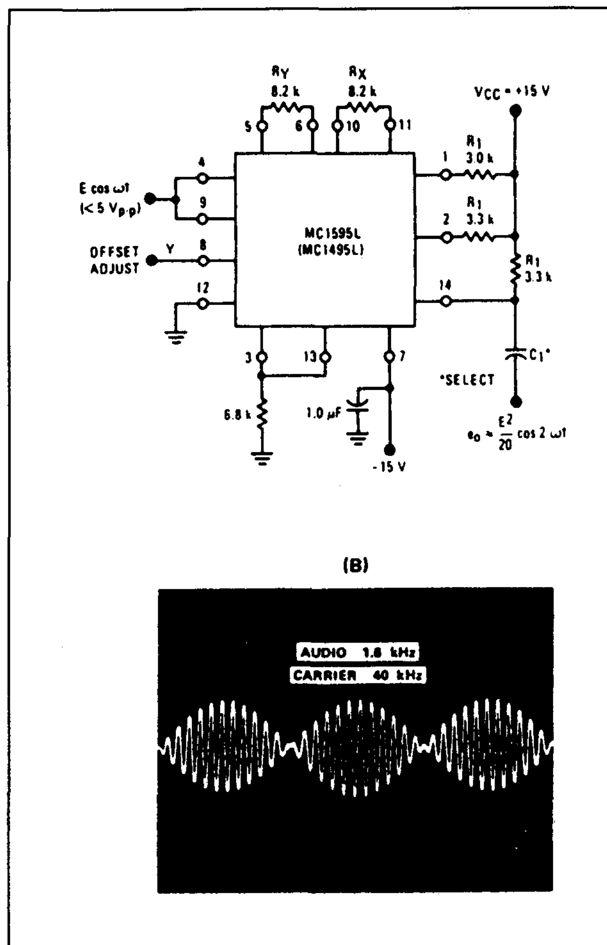
vierquadrant, 1,0%, 3,0 MHz

Verbeterde versie van de MC 1495 L, echter pen-compatible.

Technische gegevens

- fabrikant: Motorola
- behuizing: DIL-14
- aansluitgegevens: figuur 11/2.2-8
- intern schema: figuur 11/2.2-9
- ingangs-parameters:
  - offsetstroom: 0,2 µA typisch
    1,0 µA max.

2.2 Type-beschrijving



Figuur 11/2.2-13: Amplitude-modulator met MC 1495.

- impedantie: 35 MΩ
- biasstroom: 8,0 μA max.
- uitgangs-parameters:
  - offsetstroom: 10 μA typisch
    50 μA max.
- nauwkeurigheids-parameters:
  - lineariteit: +/–0,5% typisch
    +/–1,0% max.

Voor de overige gegevens en de voorbeeld-schakelingen wordt verwezen naar de MC 1495 L.

CA 3091 D

vierquadrant, 3,0%, 4,4 MHz

Multiplier met stroomingangen en stroomuitgang. De eigenlijke vermenigvuldiger wordt voorafgegaan door twee zogenaamde lineariseringsnetwerken. Het IC bevat een interne spanningsreferentie, die kan gebruikt worden voor het instellen van de bias-stromen van de diverse trappen.

Technische gegevens

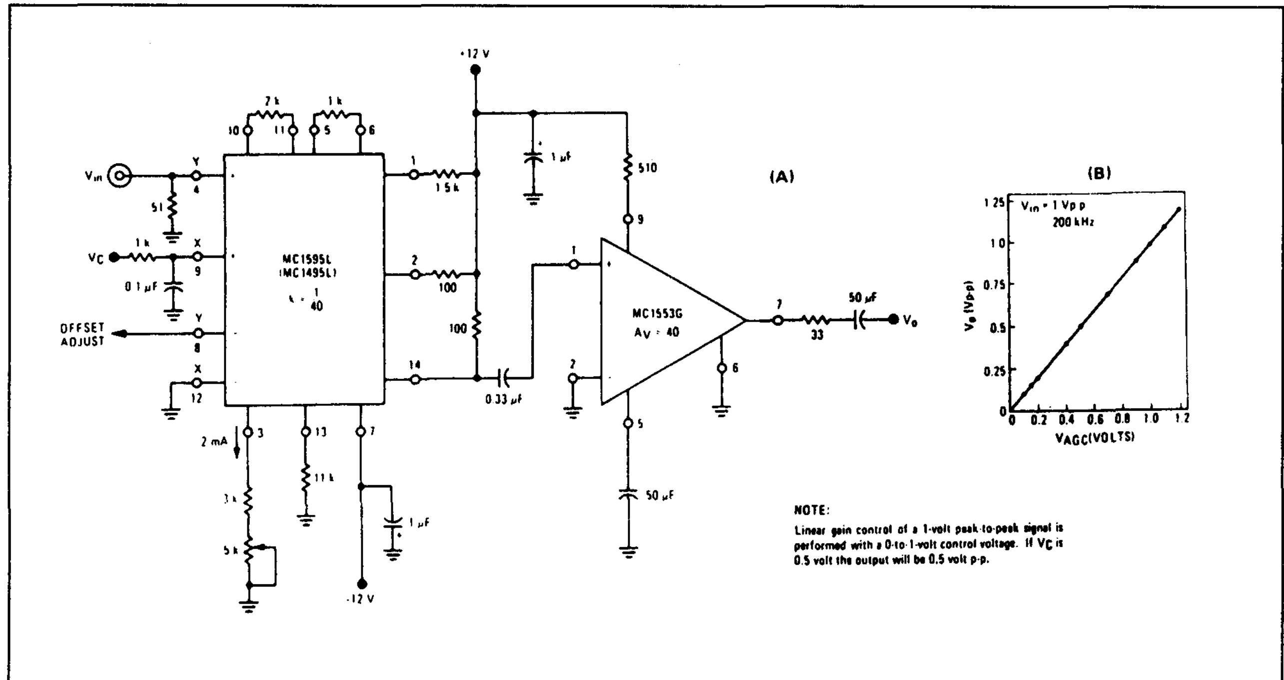
- fabrikant: RCA
- behuizing: DIL-14
- aansluitgegevens: figuur 11/2.2-15
- intern schema: figuur 11/2.2-16
- algemene parameters:
  - voedingsspanningen: +/–6 V min.
    +/–15 V typisch
    +/–18 V max.
  - voedingsstromen: +4 mA, -16 mA max.
  - referentie: 6,1 V typisch
- ingangs-parameters:
  - spanningsbereik: +/–10 V
  - offsetstroom: 2,1 μA typisch
    20 μA max.
  - impedantie: 1,3 kΩ X, 0,5 kΩ Y
- uitgangs-parameters:
  - spanningsbereik: +/–10 V
  - impedantie: 1,0 MΩ
  - offsetstroom: 0,23 μA typisch
    10 μA max.
- nauwkeurigheids-parameters:
  - lineariteit: +/–1,7% typisch
    +/–3,0% max.
  - temp. coëf.: 0,76%/°C
  - 3 dB bandbreedte: 4,4 MHz
  - 3° bandbreedte: 310 kHz
  - slew rate: 27 V/μs max.

Voorbeeld-schakelingen

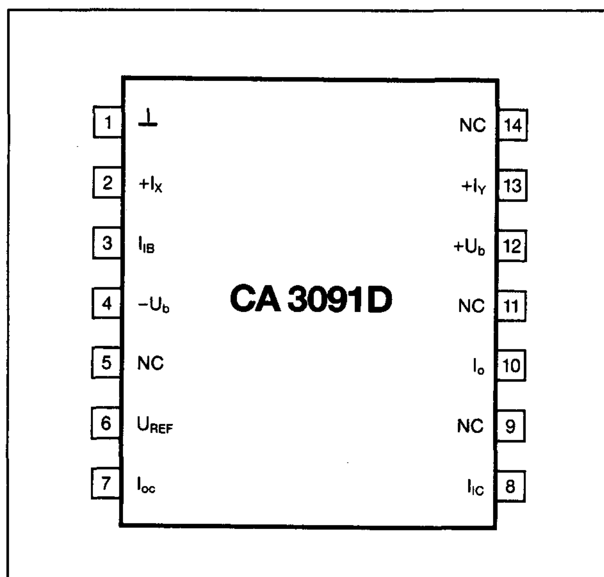
– figuur 11/2.2-17:
Basis-schema van de CA 3091 vermenigvuldiger voor gelijkspanningen. De schaal-factor is gelijk aan 0,1 en wordt ingesteld met de instelpotentiometer van 50 kΩ.

– figuur 11/2.2-18:
Schema van een universeel bruikbaar moduul met de CA 3091 D en een operationele versterker. Alle belangrijke in- en uitgangen staan ter beschikking op een klemmenbordje met 9 aansluitingen. De aansluitingen op dit bordje voor vermenigvuldiging, kwadratering, deling en worteltrekking zijn onder het algemene schema ingetekend.

2.2 Type-beschrijving



Figuur 11/2.2-14: Spanningsafhankelijke verzwakker met een lineariteit van 0,1 % met de MC 1495.



Figuur 11/2.2-15: Aansluitgegevens CA 3091 D.

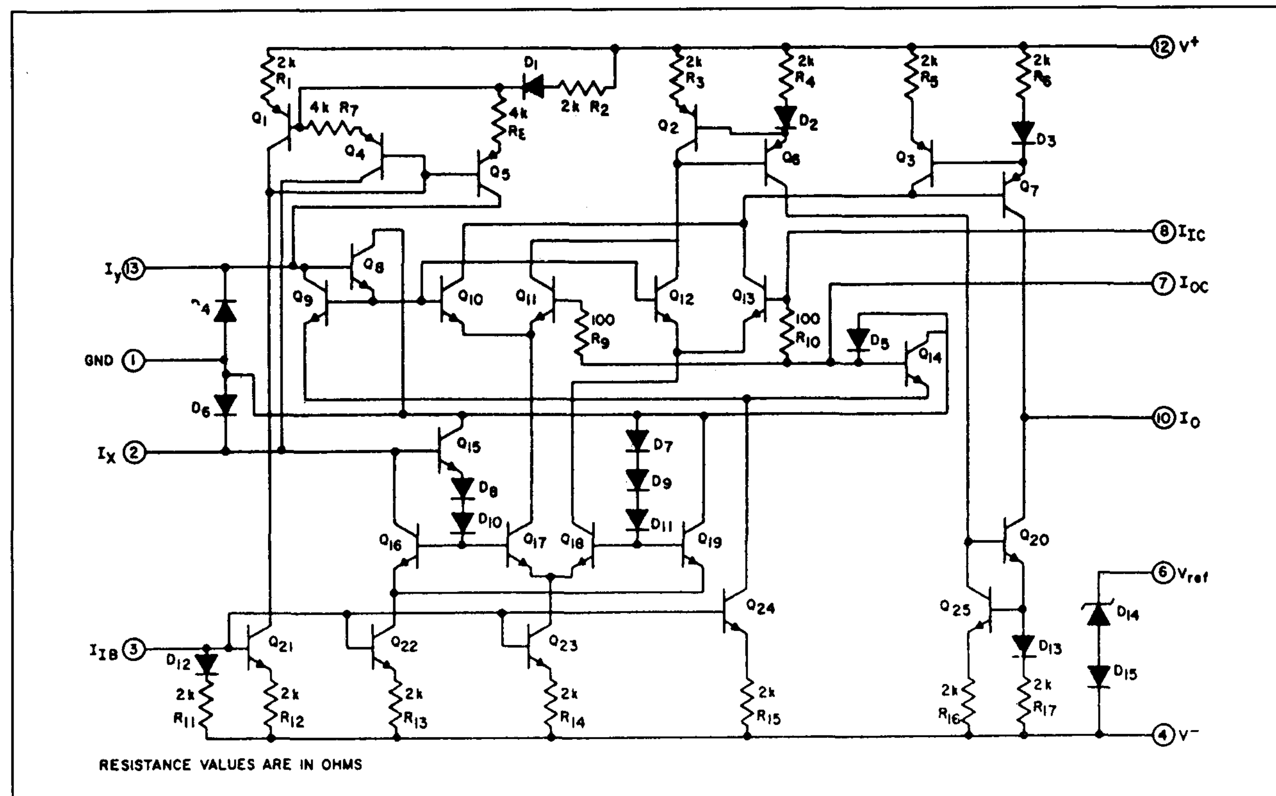
XR 2208

vierquadrant, 0,3%, 8,0 MHz

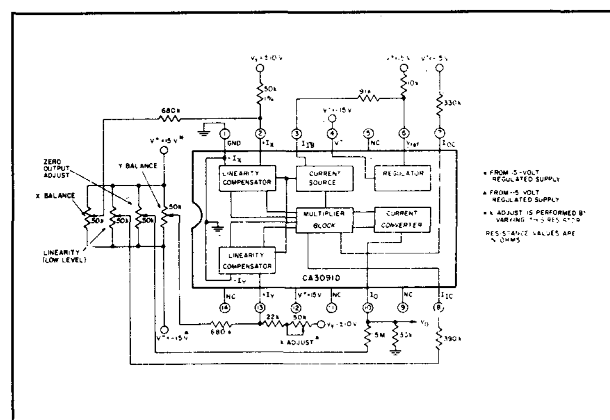
Breedbandige vermenigvuldiger die onder bepaalde voorwaarden tot 100 MHz bruikbaar is. De schakeling bestaat uit een vermenigvuldiger, buffer-versterker en operationele versterker, zodat alle mogelijke toepassingen gerealiseerd kunnen worden zonder externe actieve elementen.

Technische gegevens
- fabrikant: EXAR
- behuizing: DIL-16
- aansluitgegevens: figuur 11/2.2-19
- intern schema: figuur 11/2.2-20
- intern blokschema: figuur 11/2.2-21
- algemene parameters:
  - voedingsspanningen: +/– 15 V typisch
    +/–4,5 V min.
    +/–16 V max.
  - voedingsstromen: +/–8 mA max.
- buffer-versterker:
  - versterking: 1,0
  - uitgangsimpedantie: 200 Ω
- operationele versterker:
  - offsetspanning: 6 mV max.
  - bias-stroom: 300 nA typisch
  - versterking: 75 dB
  - ingangsimpedantie: 3 MΩ
  - uitgangsimpedantie: 2 kΩ
  - slew rate: 0,5 V/µs
- ingangs-parameters vermenigvuldiger:
  - spanningsbereik: +/–10 V

2.2 Type-beschrijving



Figuur 11/2.2-16: Intern schema van de CA 3091.



Figuur 11/2.2-17: Intern blokschema van de CA 3091 met de noodzakelijke externe componenten voor compensatie.

  - offsetspanning: 70 mV typisch
    150 mV max.
  - impedantie: 1,0 MΩ
  - biasstroom: 16 μA max.
- uitgangs-parameters:
  - spanningsbereik: +/–10 V
  - impedantie: 6 kΩ
  - offsetspanning: 80 mV typisch
    140 mV max.
- nauwkeurigheids-parameters:
  - lineariteit: +/–0,3% typisch
    +/–1,0% max.
  - temp. coëf.: 0,07%/°C
  - 3 dB bandbreedte: 8,0 MHz
  - 3° bandbreedte: 1,2 MHz
  - 1% bandbreedte: 30 kHz
  - transcond. bandbreedte: 100 MHz

Voorbeeld-schakelingen

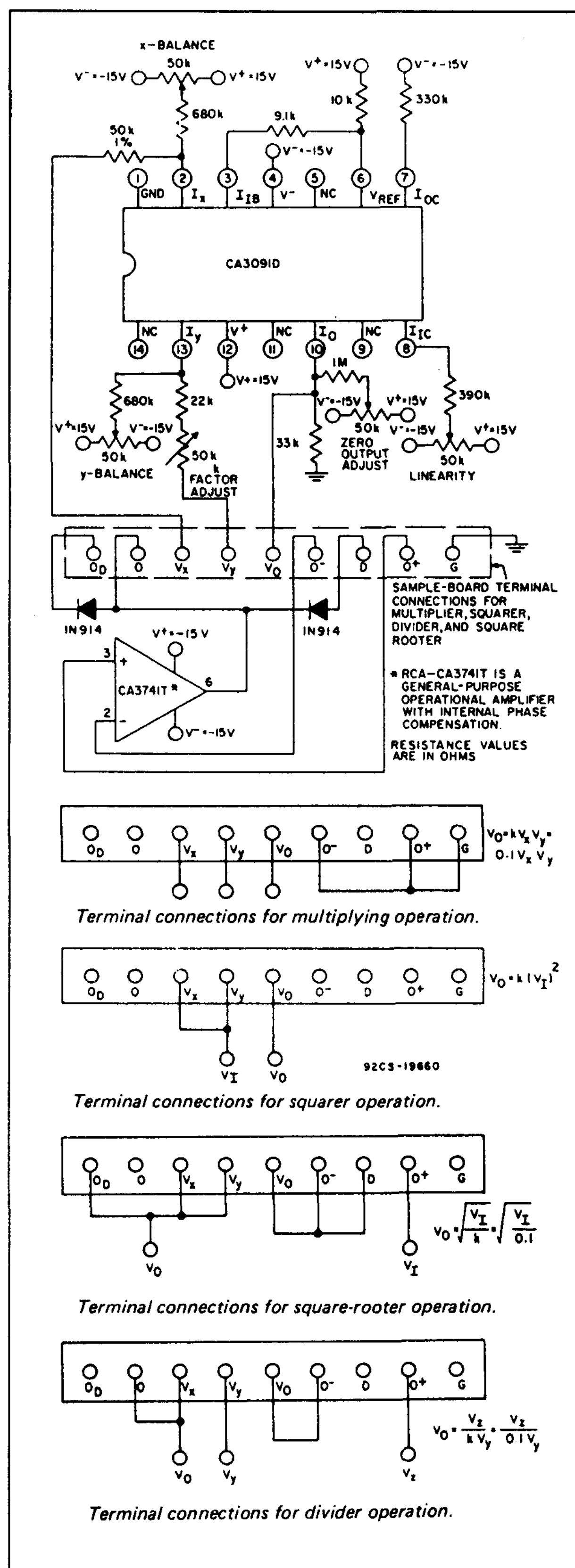
– figuur 11/2.2-22:

Basis-schema van de vermenigvuldiger voor gelijkspanningen. De schaal-factor is gelijk aan 0,1 en wordt ingesteld met de instelpotentiometer van 5 kΩ.

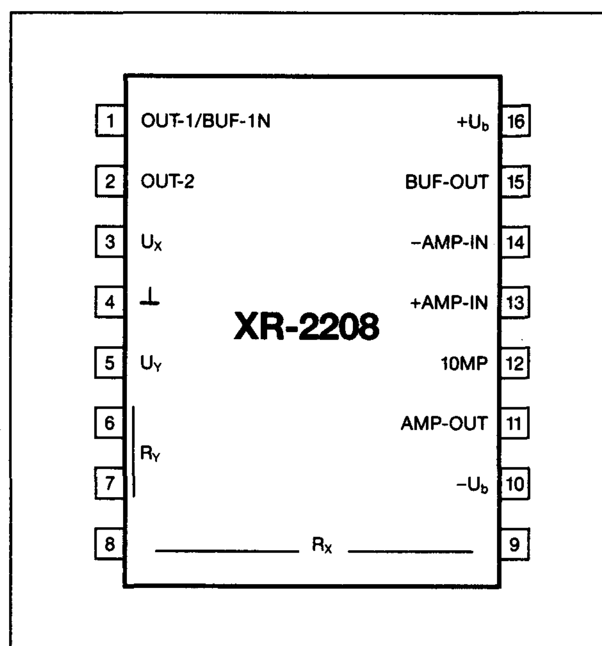
– figuur 11/2.2-23:

Synchrone detector voor amplitude gemoduleerde signalen. De schakeling werkt tot boven de 100 MHz voor ingangssignalen met een maximale effectieve waarde van 50 mV. De twee condensatoren C1 vormen de detec-

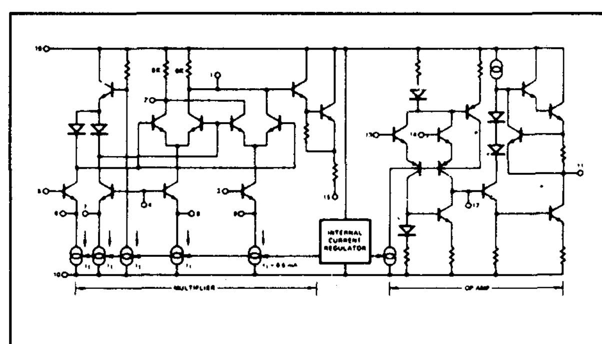
2.2 Type-beschrijving



Figuur 11/2.2-18: Module rond de CA 3091 waarmee de vier basis-bewerkingen uitgevoerd kunnen worden.



Figuur 11/2.2-19: Aansluitgegevens XR 2208.



Figuur 11/2.2-20: Intern schema XR 2208.

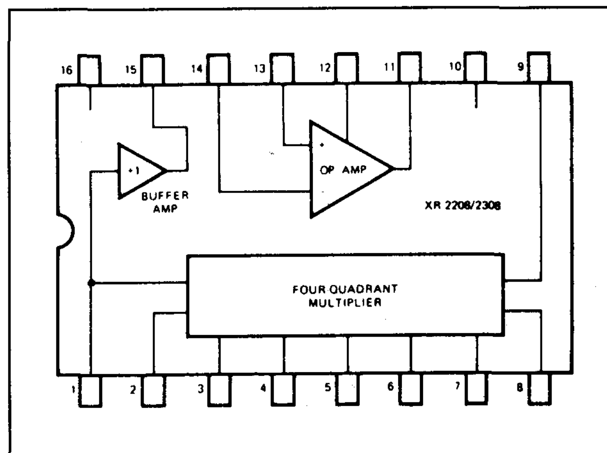
tie-condensatoren en de waarde is afhankelijk van de frequentie van de draaggolf. De ingebouwde operationele versterker wordt gebruikt als laagfrequent eindversterker.
– figuur 11/2.2-24:
Driehoek naar sinus omzetter, bruikbaar in functie-generatoren. De driehoek moet een top tot top waarde hebben van 300 mV. Op de uitgang verschijnt een sinus met een top tot top waarde van 2 V en een gemiddelde vervorming van 1%.

XR 2228

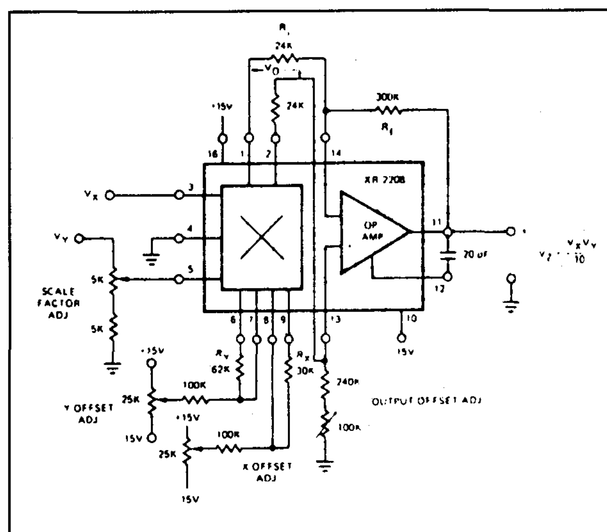
vierquadrant

Breedbandige vermenigvuldiger die onder bepaalde voorwaarden bruikbaar is tot 100 MHz.

2.2 Type-beschrijving



Figuur 11/2.2-21: Intern blokschema XR 2208.



Figuur 11/2.2-22: Basis-schakeling voor vermenigvuldigen met de XR 2208.

De schakeling bestaat uit een vermenigvuldiger en operationele versterker.

Technische gegevens

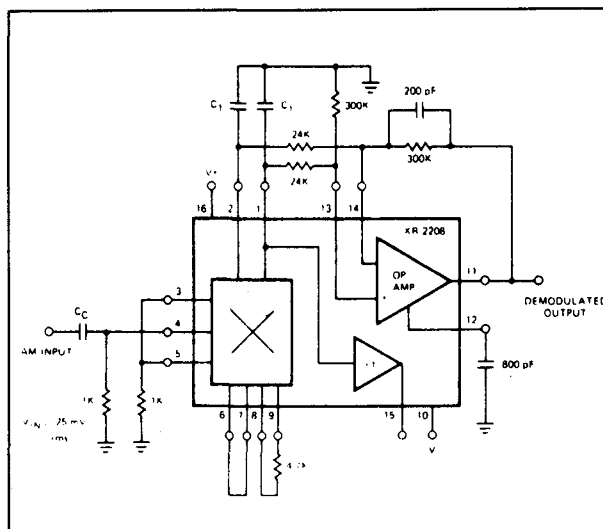
- fabrikant: EXAR
- behuizing: DIL-16
- intern blokschema: figuur 11/2.2-25

Nadere gegevens ontbreken.

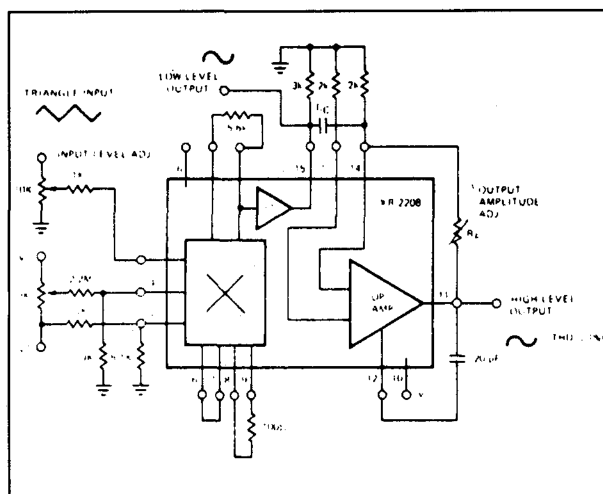
ICL 8013

vierquadrant, 0,5 → 2,0%, 1,0 MHz

Vermenigvuldiger die in zeven nauwkeurigheids-klassen geleverd wordt. De schakeling bestaat uit een vermenigvuldiger en inge-



Figuur 11/2.2-23: Demodulator voor amplitude gemoduleerde signalen met de XR 2208.



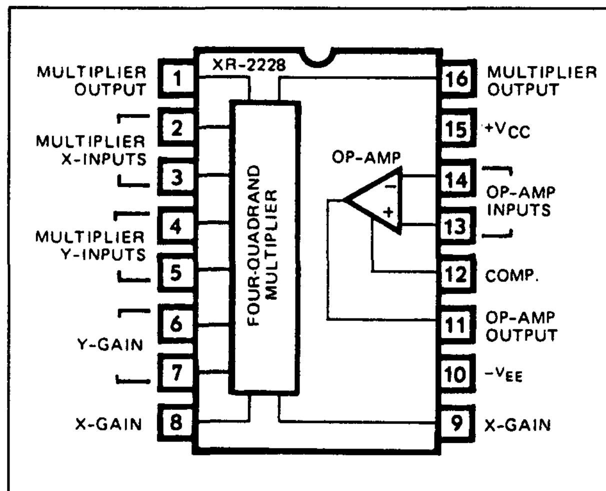
Figuur 11/2.2-24: Driehoek naar sinus omzetter met de XR 2208.

bouwde operationele versterker, zodat alle basis-schakelingen gerealiseerd kunnen worden zonder externe actieve elementen.

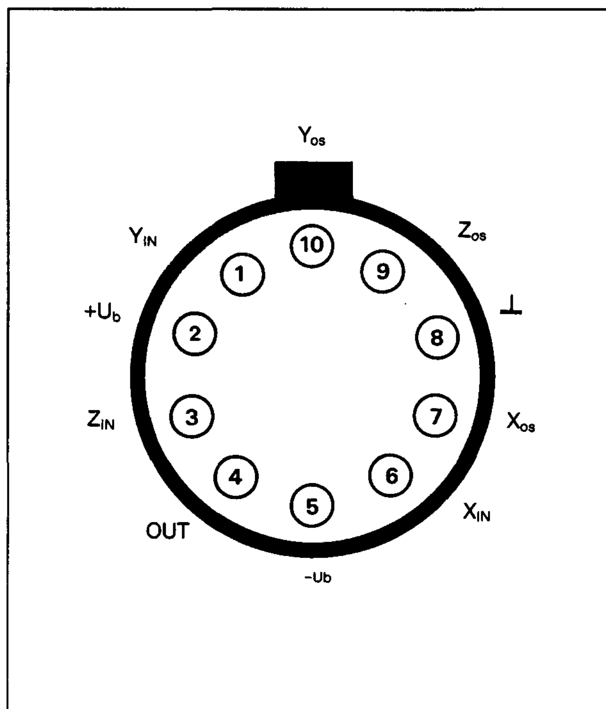
Technische gegevens

- fabrikant: Intersil
- behuizing: TO-100
- aansluitgegevens: figuur 11/2.2-26
- intern schema: figuur 11/2.2-27
- intern blokschema: figuur 11/2.2-28
- algemene parameters:

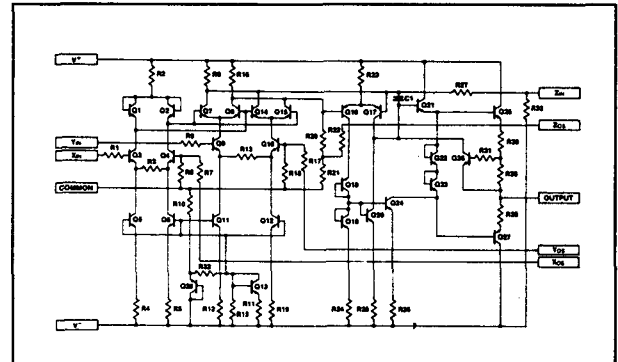
2.2 Type-beschrijving



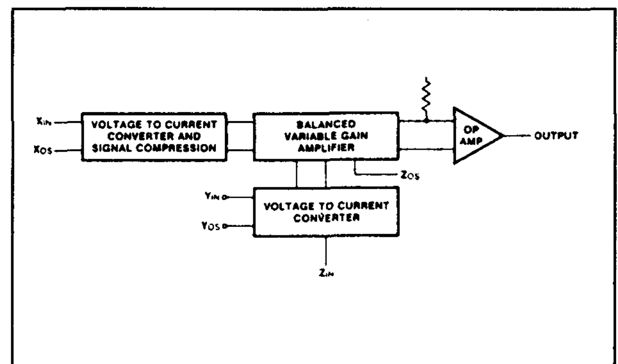
Figuur 11/2.2-25: Aansluitgegevens en intern blokschema van de XR 2228.



Figuur 11/2.2-26: Aansluitgegevens ICL 8013.



Figuur 11/2.2-27: Intern schema ICL 8013.



Figuur 11/2.2-28: Intern blokschema ICL 8013.

- voedingsspanningen: +/–15 V typisch
  +/–18 V max.
- voedingsstromen: +/–6 mA max.
- ingangs-parameters:
  - spanningsbereik: +/–U_b V
  - offsetspanning: 50 mV typisch
    200 mV max.
  - impedantie: 10 MΩ (X)
    6 mΩ (Y)
    36 kΩ (Z)
  - biasstroom: 10 μA max. (X en Y)
    25 μA max. (Z)
- uitgangs-parameters:
  - spanningsbereik: +/–U_b
  - ruis: 3 mV rms max.
- nauwkeurigheids-parameters:
  - lineariteit: figuur 11/2.2-29
  - temp. coëf.: 0,04%/°C
  - 3 dB bandbreedte: 1,0 MHz
  - 3° bandbreedte: 5 kHz
  - 1% bandbreedte: 75 kHz
  - slew rate: 45 V/μs

Voorbeeld-schakeling

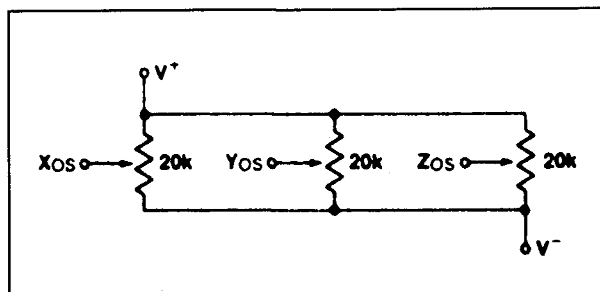
- figuur 11/2.2-30:

Basis-schakelingen voor vermenigvuldigen, delen, worteltrekken en kwadrateren. De offset-spanningen kunnen op de ingangen X_{os}, Y_{os} en Z_{os} gecompenseerd worden volgens het schema van figuur 11/2.2-31.

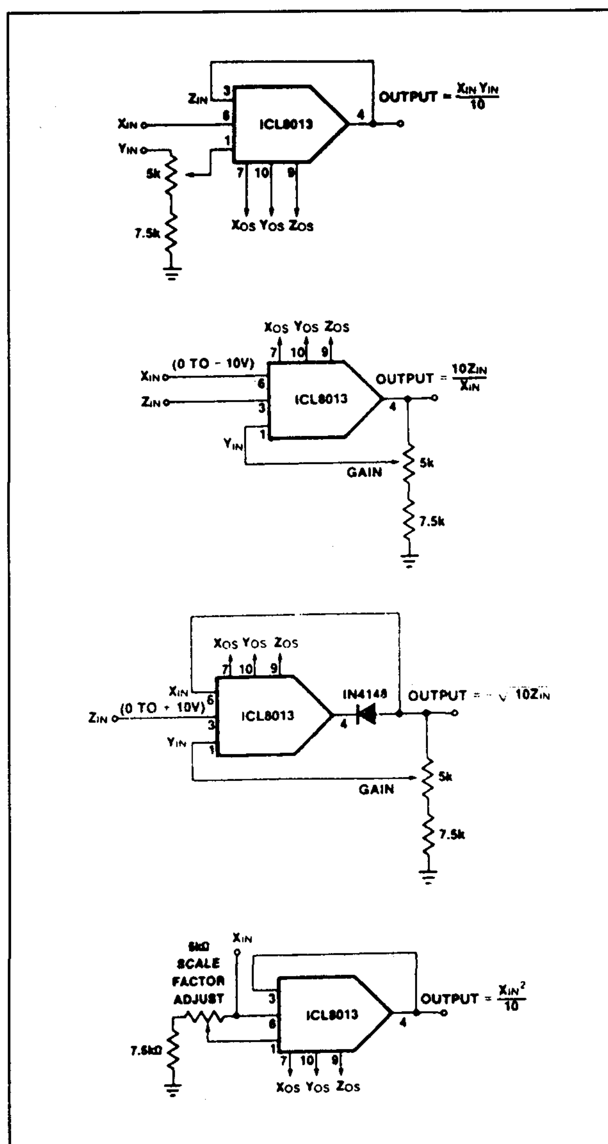
2.2 Type-beschrijving

PART NUMBER	MULTIPLICATION ERROR
ICL8013AM TZ	±0.5% MAX
ICL8013BM TZ	±1% MAX
ICL8013CM TZ	±2% MAX
ICL8013AC TZ	±5% MAX
ICL8013BC TZ	±1% MAX
ICL8013CC TZ	±2% MAX
ICL8013/D	±2% TYP

Figuur 11/2.2-29: Nauwkeurigheidsklassen van de ICL 8013.



Figuur 11/2.2-31: Schakeling voor het compenseren van de diverse offset-spanningen bij de ICL 8013.



Figuur 11/2.2-30: De vier basis-bewerkingen met de ICL 8013.

RC 4200

eenkwadrant, 0,1%, 4,0 MHz

Speciale schakeling met drie stroom-ingangen en een stroomuitgang. Het IC berekent de wiskundige uitdrukking:

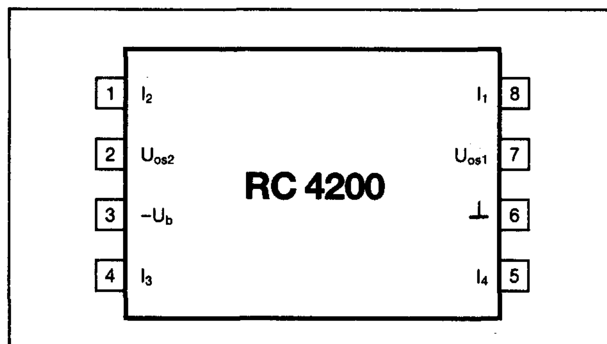
$$I_3 = \frac{I_1 \cdot I_2}{I_4}$$

Deze stromen moeten positief zijn (vloeien allemaal naar het IC toe) en liggen in het gebied tussen 1 µA en 1 mA. Om de eenquadrant werking om te zetten in vierquadrant functie moet men externe bias-stromen toevoegen, waardoor de ruststromen in het midden van het werkgebied worden ingesteld. De actieve bipolaire stromen kunnen deze bias-stromen dan in dalende en stijgende lijn beïnvloeden.

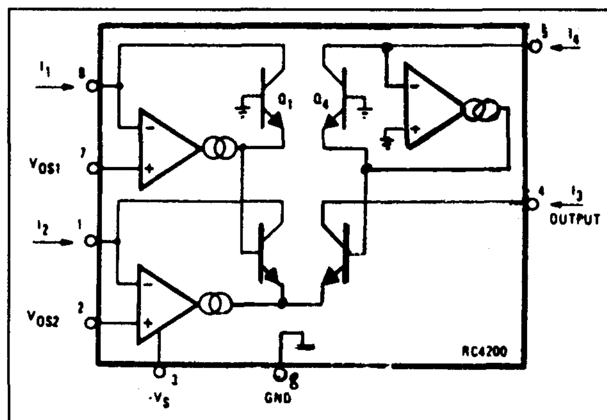
Technische gegevens

- fabrikant: Raytheon
- behuizing: DIL-8
- aansluitgegevens: figuur 11/2.2-32
- intern blokschema: figuur 11/2.2-33
- algemene parameters:
  - voedingsspanning: -15 V typisch, - 9 V min., -22 V max.
  - voedingsstroom: -5 mA max.
- ingangs-parameters:
  - stroombereik: 1 → 1000 µA
  - offsetspanning: 5 mV typisch, 10 mV max.
  - biasstroom: 500 nA max.
- uitgangs-parameters:
  - stroombereik: 1 → 1000 µA

2.2 Type-beschrijving



Figuur 11/2.2-32: Aansluitgegevens RC 4200.



Figuur 11/2.2-33: Intern blokschema RC 4200.

- nauwkeurigheids-parameters:
  - lineariteit: +/–0,1 % typisch
    +/–0,3% max.
  - temp. coëf.: 100 µV/°C
  - 3 dB bandbreedte: 4,0 MHz

Voorbeeld-schakelingen

- figuuur 11/2.2-34:

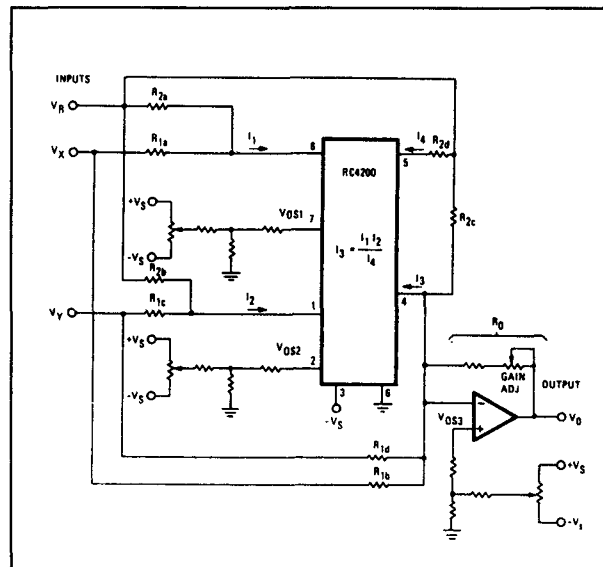
Basis-schema van een nauwkeurige vermenigvuldiger voor gelijkspanningen die dank zij die voorinstelling uit een referentiespanning U_R in vier quadranten werkt.

- figuur 11/2.2-35:

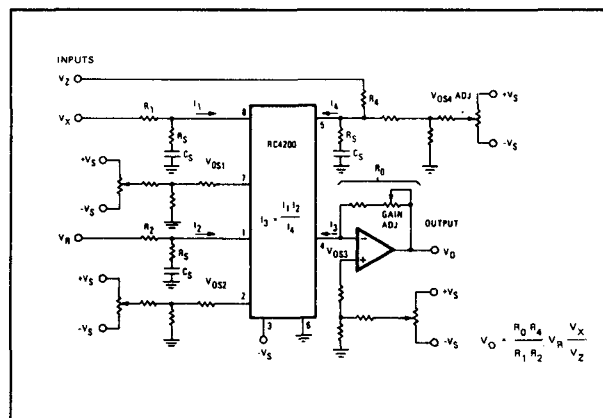
Basis-schema van deler-schakeling met eenquadrant werking.

- figuur 11/2.2-36:

Echte effectieve waarde gelijkrichter voor wisselspanningen. De eigenlijke RMS-omzetter wordt voorafgegaan door een 'absolute value'-schakeling die de te meten wisselspanning omzet in een gelijkspanning. Deze schakeling moet de negatieve halve perioden van de wisselspanning omklappen ten opzichte van de nul-as, zodat alleen positieve spanningen aan de RC 4200 worden aangeboden.



Figuur 11/2.2-34: Basis-schakeling van een vierquadrant vermenigvuldiger met de RC 4200.



Figuur 11/2.2-35: Deler-schakeling met de RC 4200.

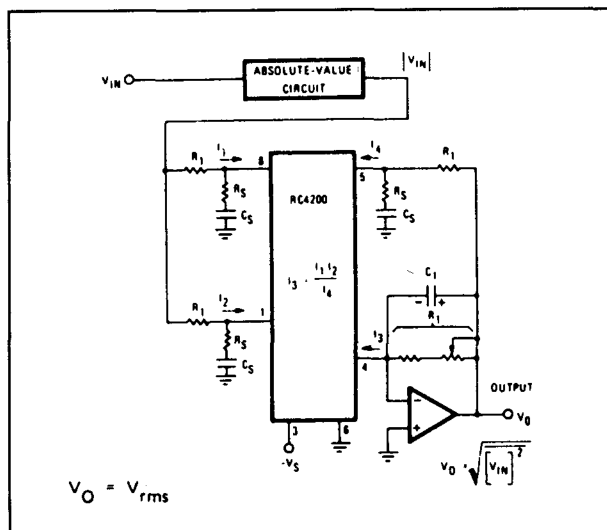
AD 532

vierquadrant, 0,5 → 1,5%, 1,0 MHz

Industrie-standaard!

Vermenigvuldiger met twee differentiële spannings-ingangen en een spannings-uitgang. Door de differentiële structuur van de ingangen wordt het compenseren van de offset vereenvoudigd. De chip van deze schakeling is gedurende de fabrikage met een

2.2 Type-beschrijving

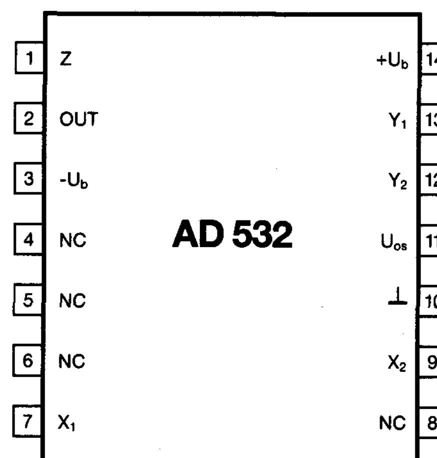


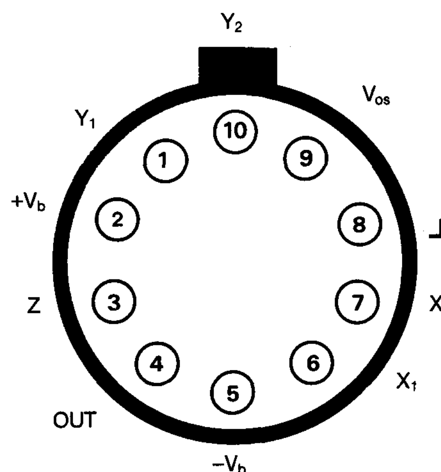
Figuur 11/2.2-36: Berekenen van de effectieve waarde van een wisselspanning met de RC 4200.

laser afgeregeld, zodat offset- en lineariteits-instellingen kunnen vervallen.

Technische gegevens

- fabrikant: Analog Devices
- behuizing: DIL-14, TO-100
- aansluitgegevens: figuur 11/2.2-37
- intern schema: figuur 11/2.2-38
- intern blokschema: figuur 11/2.2-39
- algemene parameters:
  - voedingsspanningen: +/–15 V typisch
    +/–10 V min.
    +/–18 V max.
  - voedingsstromen: +/–6 mA max.
- ingangs-parameters:
  - spanningsbereik: +/–10 V
  - offsetstroom: 0,1 μA typisch
  - impedantie: 10 MΩ
  - biasstroom: 8 μA max.
- uitgangs-parameters:
  - spanningsbereik: +/–13 V
  - impedantie: 1 Ω
  - offsetspanning: 30 mV typisch
- nauwkeurigheids-parameters:
  - lineariteit: AD 532 J: 1,5%
    AD 532 K: 1,5%
    AD 532 S: 0,5%
  - temp. coëf.: 0,04%/°C
  - 3 dB bandbreedte: 1,0 MHz





Figuur 11/2.2-37: Aansluitgegevens AD 532.

  - 1% bandbreedte: 75 kHz
  - slew rate: 45 V/μs

Voorbeeld-schakelingen

- figuur 11/2.2-40:

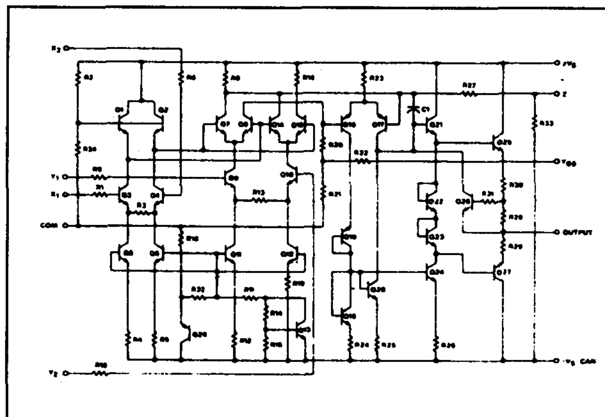
Basis-schema's voor vermenigvuldigen, delen, kwadrateren en vierkantswortel berekenen. De U_{os} aansluiting kan gebruikt worden voor het compenseren van de minimale offset die na de laser-trimming toch nog aanwezig is.

AD 533

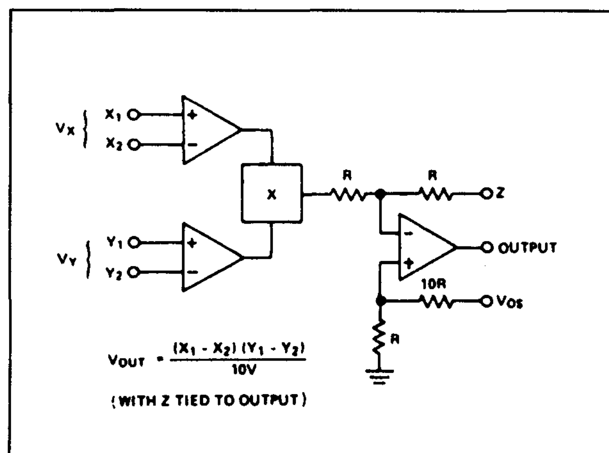
vierquadrant, 0,5 → 2,0%, 1,0 MHz

Deze schakeling bestaat uit een vermenig-

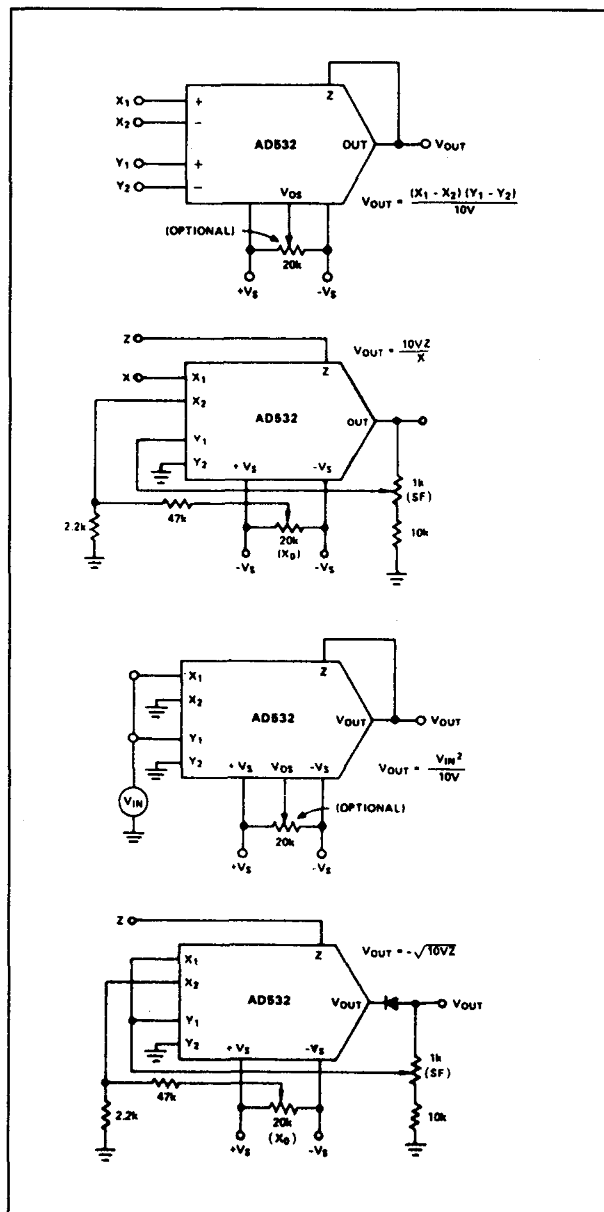
2.2 Type-beschrijving



Figuur 11/2.2-38: Intern schema van de AD 532.



Figuur 11/2.2-39: Intern blokschema van de AD 532.



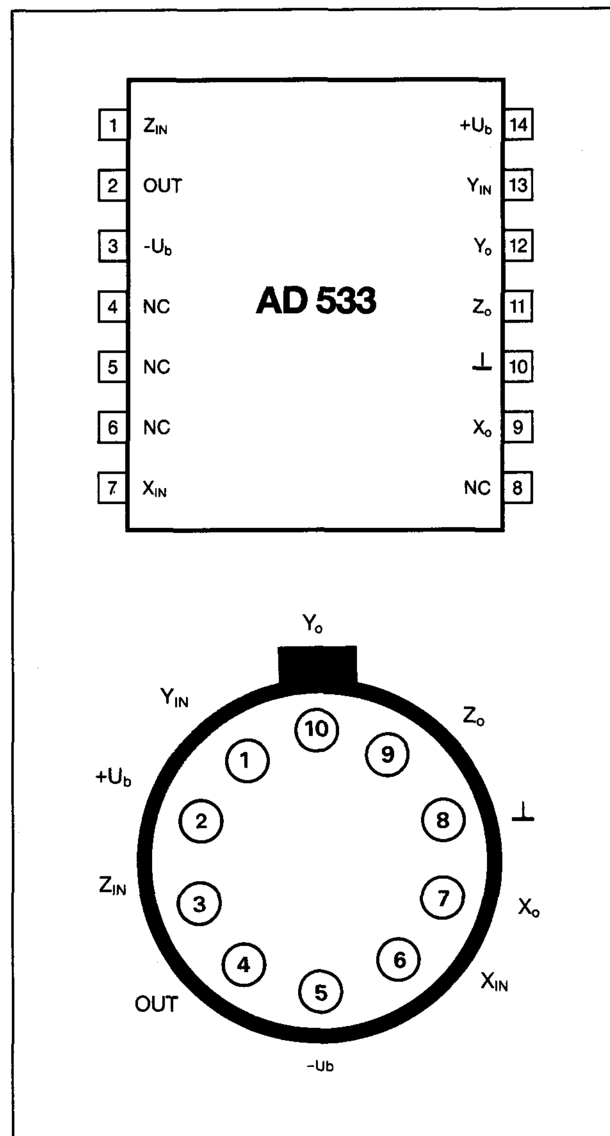
Figuur 11/2.2-40: Basis-bewerkingen met de ADC 532.

vuldiger en ingebouwde operationele versterker, zodat alle basis-schakelingen gerealiseerd kunnen worden zonder externe actieve elementen. In de TO-100 uitvoering is deze vermenigvuldiger pin-compatible met de ICL 8013.

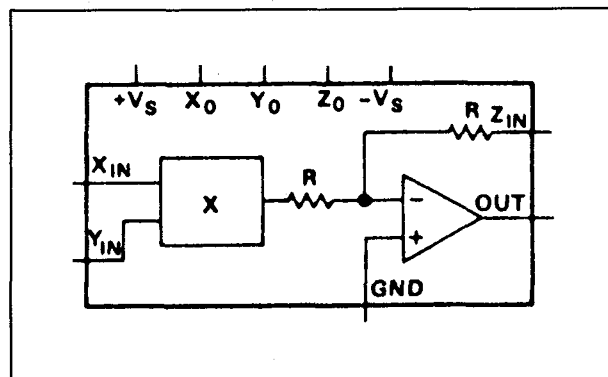
Technische gegevens

- fabrikant: Analog Devices
- behuizing: TO-100, DIL-14
- aansluitgegevens: figuur 11/2.2-41
- intern blokschema: figuur 11/2.2-42
- algemene parameters:
  - voedingsspanningen: +/–15 V typisch
    +/–10 V min.
    +/–18 V max.
  - voedingsstromen: +/–6 mA max.
- ingangs-parameters:
  - spanningsbereik: +/–10 V
  - offsetspanning: 50 mV typisch
    200 mV max.
  - impedantie: 10 MΩ (X)
    6 MΩ (Y)
    36 kΩ (Z)
  - biasstroom: 3 µA max. (X en Y)
    25 µA max. (Z)
- uitgangs-parameters:
  - spanningsbereik: +/–10 V
  - ruis: 3 mV rms max.

2.2 Type-beschrijving

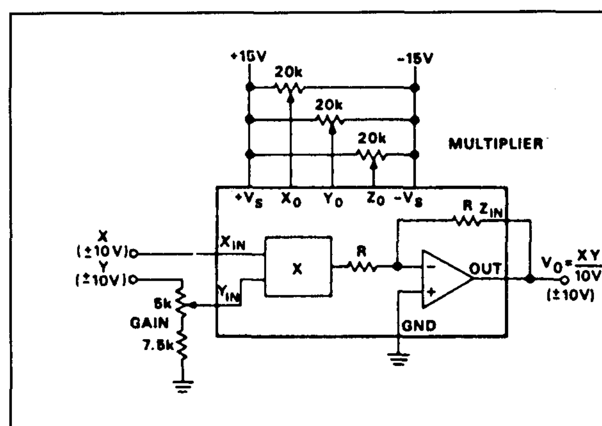


Figuur 11/2.2-41: Aansluitgegevens van de AD 533.



Figuur 11/2.2-42: Intern blokschema van de AD 533.

- nauwkeurigheids-parameters:
  - lineariteit: AD 533 J: 2,0%
    AD 533 K: 1,0%
    AD 533 L: 0,5%
    AD 533 S: 1,0%
  - temp. coëf.: 0,04%/°C
  - 3 dB bandbreedte: 1,0 MHz
  - 3° bandbreedte: 5 kHz
  - 1% bandbreedte: 75 kHz
  - slew rate: 45 V/µs



Figuur 11/2.2-43: Basis-schema vermenigvuldiger met offset-compensatie met de AD 533.

Voorbeeld-schakeling

- figuur 11/2.2-43:

Basis-schakeling voor vermenigvuldigen met compensatie van de offset-spanningen op de ingang X_{OS}, Y_{OS} en Z_{OS}.

AD 534

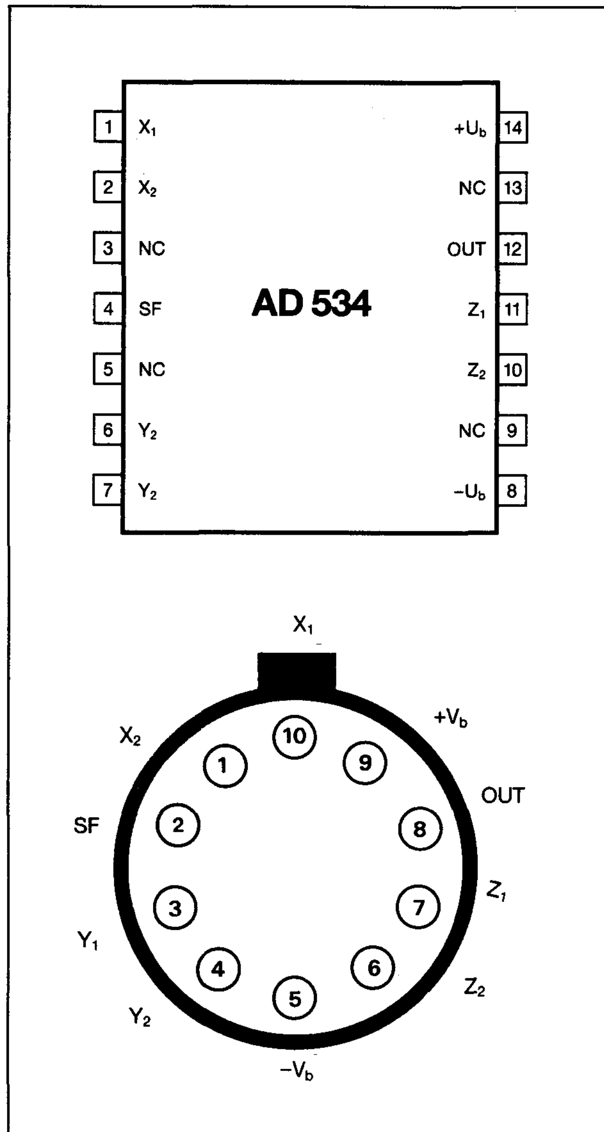
vierquadrant, 0,5 → 1,5%, 1,0 MHz

Deze schakeling bestaat uit vier operationele versterkers, waarvan twee de eigenlijke vermenigvuldiger sturen en de derde de inverterende ingang van de vierde stuurt. Deze laatste op-amp is bovendien met zijn niet inverterende ingang aangesloten op de uitgang van de eigenlijke vermenigvuldiger. Het IC bevat een stabiele referentie-spanning. Alle schakelingen zijn laser-getrimd, zodat het niet noodzakelijk is externe offset- en lineariteits-compenserende netwerken aan te sluiten.

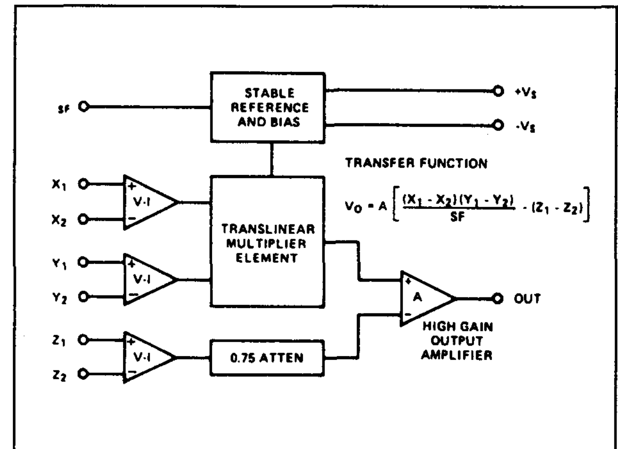
Technische gegevens

- fabrikant: Analog Devices

2.2 Type-beschrijving



Figuur 11/2.2-44: Aansluitgegevens AD 534.



Figuur 11/2.2-45: Intern blokschema van de AD 534.

- behuizing: TO-100, DIL-14
- aansluitgegevens: figuur 11/2.2-44
- intern blokschema: figuur 11/2.2-45
- algemene parameters:
  - voedingsspanningen: +/–15 V typisch
    +/–8 V min.
    +/–18 V max.
  - voedingsstromen: +/–6 mA max.
- ingangs-parameters:
  - spanningsbereik: +/–10 V
  - offsetspanning: 5 mV typisch
    20 mV max.
  - impedantie: 10 MΩ
  - biasstroom: 2,0 μA max.
- uitgangs-parameters:
  - spanningsbereik: +/–11 V
  - impedantie: 0,1 Ω
  - versterking: 70 dB
  - kortsluitstroom: 30 mA
- nauwkeurigheids-parameters:
  - lineariteit: AD 534 J: 1,5%
    AD 534 K: 1,0%
    AD 534 L: 0,5%
  - temp. coëf.: 0,1 %/°C
  - 3 dB bandbreedte: 1,0 MHz
  - 1 % bandbreedte: 50 kHz
  - slew rate: 20 V/μs

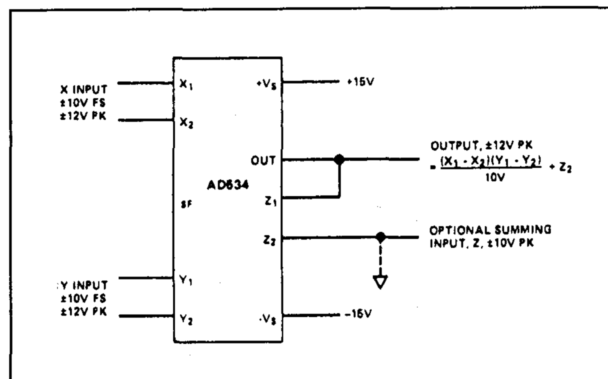
Voorbeeld-schakelingen

– figuur 11/2.2-46:
Basis-schakeling voor vermenigvuldigen met de mogelijkheid een extra gelijkspanning op de Z-ingang aan te sluiten voor het creëren van een nulpunt-verschuiving op de uitgang.

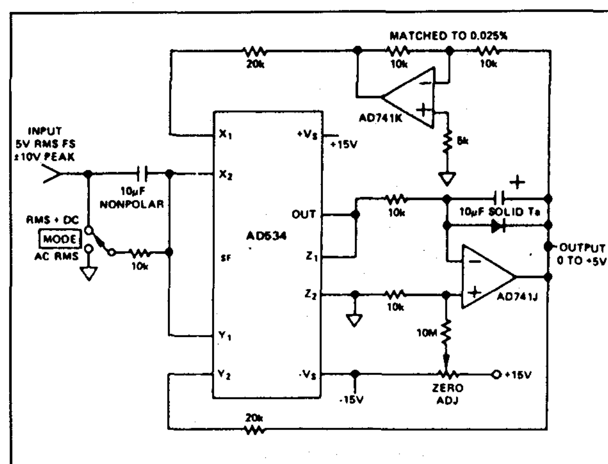
– figuur 11/2.2-47:
Gelijkrichter voor effectieve waarden (RMS-omzetter) met een ingangsimpedantie van 10 kΩ, een nauwkeurigheid van 1 % en een frequentiebereik van 60 Hz tot 1 MHz.

– figuur 11/2.2-48:
Spanning naar frequentie omzetter met een schaal-factor van 1 kHz per Volt. De lineariteit van de schakeling bedraagt 0,1 %, het bereik loopt van 0,1 V tot 10 V.

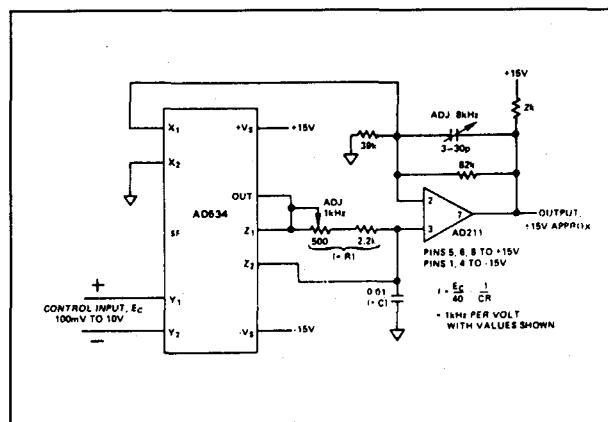
2.2 Type-beschrijving



Figuur 11/2.2-46: Basis-schema vermenigvuldiger met de AD 534.



Figuur 11/2.2-47: 'True-RMS'-omzetter met de AD 534 en een als top-detector geschakelde operationele versterker.

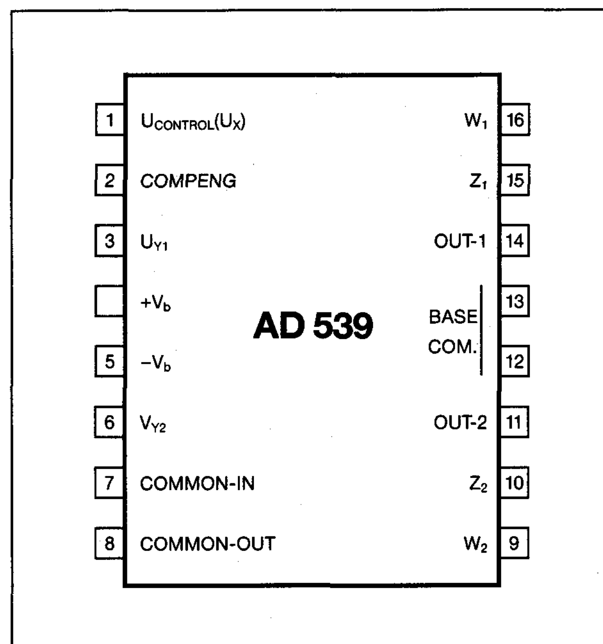


Figuur 11/2.2-48: Spanning naar frequentie omzetter met een bereik van drie decaden en een omzettings-factor van 1 kHz per V.

AD 539

tweequadrant, 2,5 → 4,0%, 60,0 MHz

Deze schakeling bestaat uit twee breedbandige analoge vermenigvuldigers, die een gemeenschappelijke ingang hebben. De schakeling is ontwikkeld voor breedbandige modulatie-toepassingen, video-processing en automatische amplitude-regelingen. De gemeenschappelijke ingang U_X ($U_{CONTROL}$) kan alleen met positieve spanningen tussen 0 en 3 V gestuurd worden. De twee overige ingangen U_Y kunnen bipolair gestuurd worden met spanningen tussen + en – 2 V. De uitgang levert een stroom, die via een belastingsweerstand in een uitgangsspanning moet worden omgezet. Voor dit doel zijn intern tussen de uitgang en de W- en Z-pennen weerstanden van 6 kΩ aangesloten.

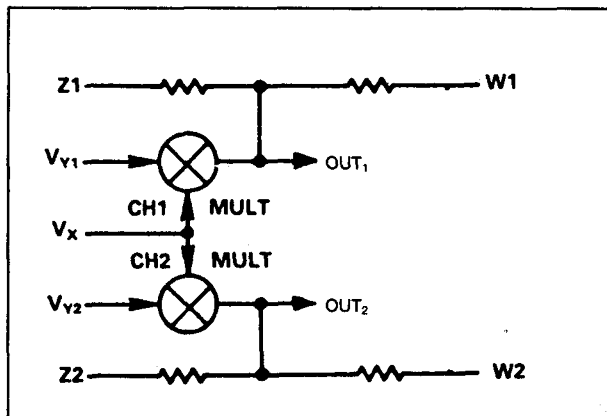


Figuur 11/2.2-49: Aansluitgegevens AD 539.

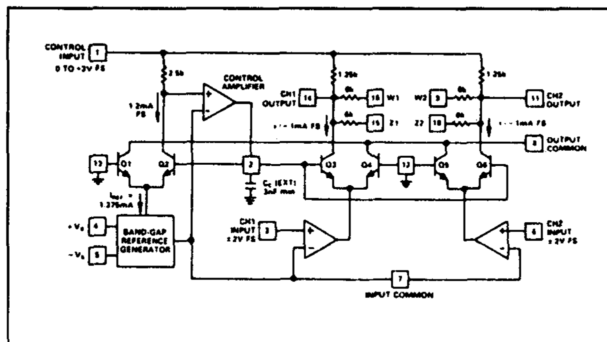
Technische gegevens

- fabrikant: Analog Devices
- behuizing: DIL-16
- aansluitgegevens: figuur 11/2.2-49
- intern blokschema: figuur 11/2.2-50
- intern schema: figuur 11/2.2-51
- algemene parameters:
  - voedingsspanningen: +/– 5 V typisch
    +/– 4,5 V min.
    +/–16,5 V max.

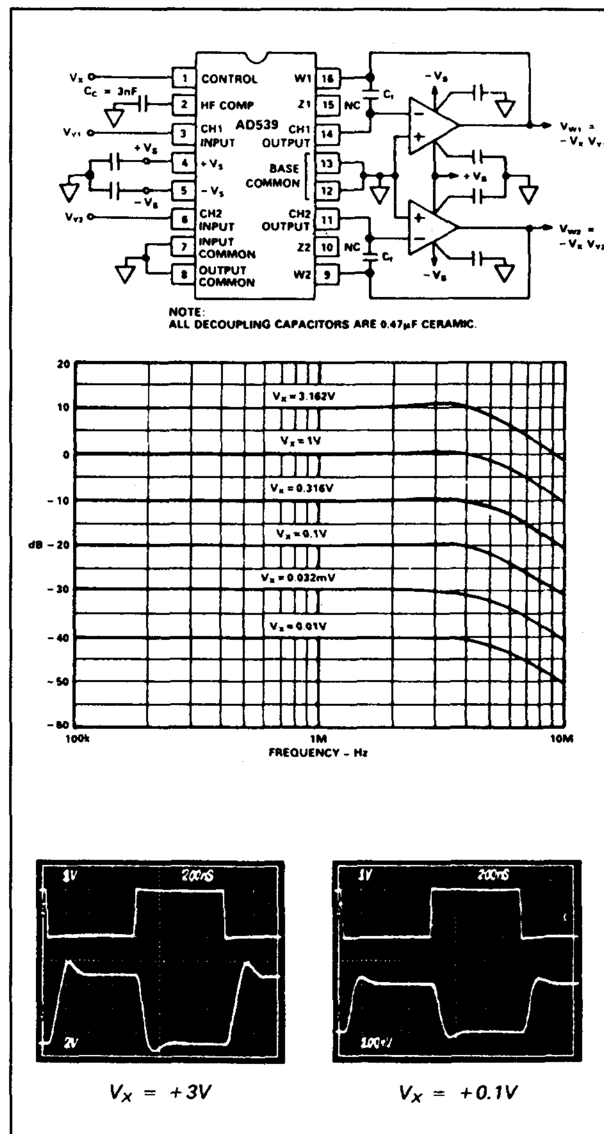
2.2 Type-beschrijving



Figuur 11/2.2-50: Intern blokschema van de AD 539.



Figuur 11/2.2-51: Intern schema van de AD 539.



Figuur 11/2.2-52: Basis-schema van tweekanaals modulator met een gemeenschappelijke stuurspanning met de AD 540.

- voedingsstromen: +10 mA, –22 mA max.
- ingangs-parameters:
  - spanningsbereik Y: +/–2 V
  - spanningsbereik X: +3 V
  - offsetspanning Y: 5 mV typisch 20 mV max.
  - offsetspanning X: 1 mV typisch 4 mV max.
  - impedantie Y: 400 kΩ
  - impedantie X: 500 Ω
  - biasstroom Y: 30 µA max.
- uitgangs-parameters:
  - stroombereik: +/–1 mA
  - impedantie: 1,2 kΩ
  - offset-stroom: 0,2 µA typisch 2 µA max.
- nauwkeurigheids-parameters:
  - lineariteit: AD 539 J: 2,5%
    AD 539 K: 1,5%
    AD 539 S: 4,0%
  - 3 dB bandbreedte: 60,0 MHz

Voorbeeld-schakeling

– figuur 11/2.2-52:
Basis-schakeling voor tweekanaals modulatie met een gemeenschappelijke stuurspanning U_X.

AD 632

vierquadrant, 0,5 → 1,0%, 1,0 MHz

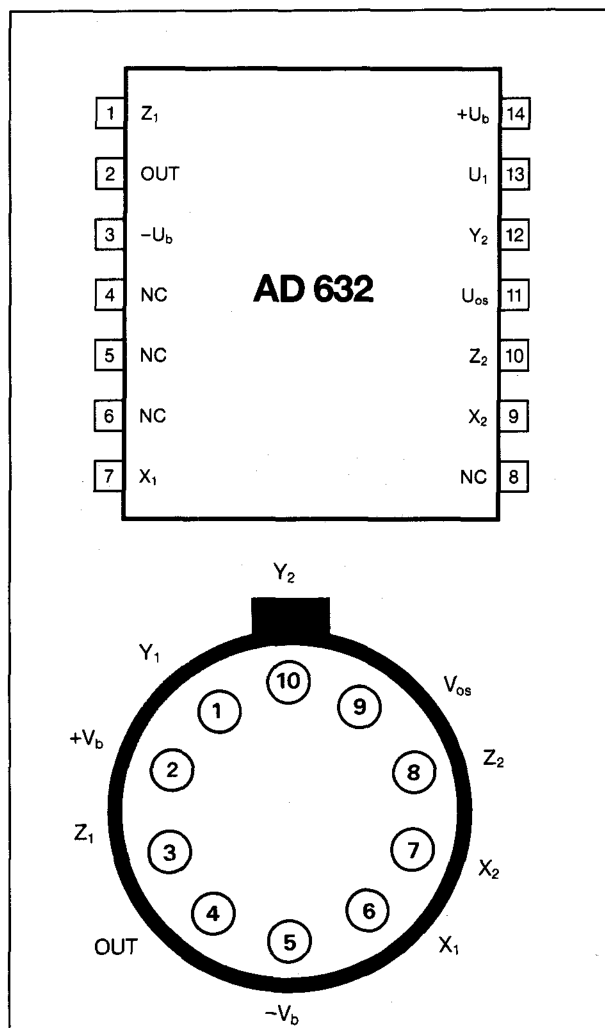
Pen- en functie-compatible met de industrie-standaard AD 632, echter met verbe-

2.2 Type-beschrijving

beterde specificaties, zoals aanmerkelijk groter bruikbaar voedingsbereik. Ook de Z-ingang is nu hoogimpedant differentiëel uitgevoerd, zodat in totaal 6 ingangen ter beschikking staan voor het uitwerken van complexe wiskundige formules.

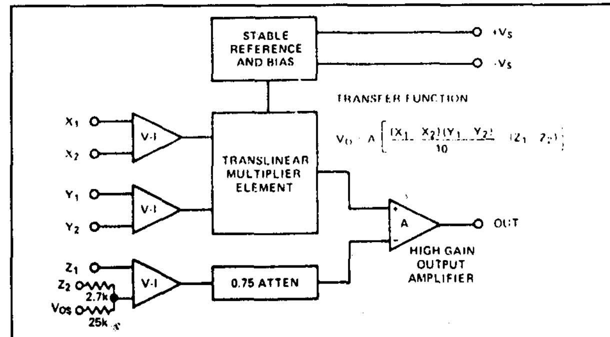
Technische gegevens

- fabrikant: Analog Devices
- behuizing: DIL-14, TO-100
- aansluitgegevens: figuur 11/2.2-53
- intern blokschema: figuur 11/2.2-54



Figuur 11/2.2-53: Aansluitgegevens AD 632.

- algemene parameters:
  - voedingsspanningen: +/–15 V typisch
    +/– 8 V min.
    +/–20 V max.
  - voedingsstromen: +/–6 mA max.

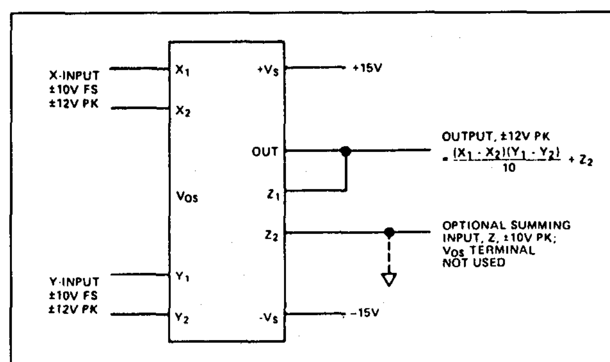


Figuur 11/2.2-54: Intern blokschema van de AD 632.

- ingangs-parameters:
  - spanningsbereik: +/–10 V
  - offsetspanning X, Y: 20 mV max.
    2 mV typisch
  - offsetspanning Z: 30 mV max.
    5 mV typisch
  - impedantie: 10 MΩ
  - biasstroom: 2 μA max.
- uitgangs-parameters:
  - spanningsbereik: +/–11 V
  - impedantie: 0,1 Ω
  - kortsluitstroom: 30 mA
- nauwkeurigheids-parameters:
  - lineariteit: AD 632 A: 1,0%
    AD 632 B: 0,5%
    AD 632 S: 1,0%
    AD 632 T: 0,5%
  - temp. coëf.: 0,02%/°C
  - 3 dB bandbreedte: 1,0 MHz
  - 1% bandbreedte: 50 kHz
  - slew rate: 20 V/μs

Voorbeeld-schakeling

- figuur 11/2.2-55:
Basis-schema voor vermenigvuldigen.



Figuur 11/2.2-55: Basis-schema van een vermenigvuldiger met de AD 632.

2.2 Type-beschrijving

AD 538

analoge computer, 0,25 → 1%, 400 kHz

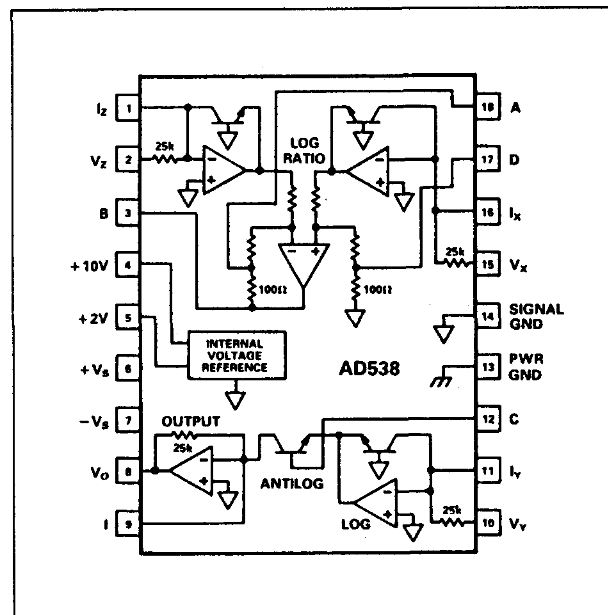
De AD 538 is een analoge computer, die beschikt over drie sets ingangen X, Y en Z. Voor iedere variabele is een stroom- en een spanningsingang aanwezig. De AD 538 heeft als basis-transferfunctie:

$U_{out}=U_Y.[U_Z/U_X]^m$

Door middel van lasertrimming zijn er exemplaren leverbaar met een gemiddelde fout van slechts 0,25% over een groot dynamische bereik. De AD 538 is geschikt voor:
- vermenigvuldiging;
- deling;
- worteltrekking;
- macht verheffing;
- trigonometrische berekeningen;
- logaritmische berekeningen.

Er zijn geen externe componenten noodzakelijk als men vermenigvuldigt of deelt in slechts één quadrant. De AD 538 is uitgerust met interne referentiespanningen van +2 V en van +10 V.

Technische gegevens
- fabrikant: Analog Devices
- behuizing: DIL-18
- aansluitgegevens: figuur 11/2.2-56
- intern blokschema: figuur 11/2.2-56
- algemene parameters:
  - voedingsspanningen:
    +/-4,5 V min.
    +/-15 V typisch
    +/-18 V max.
  - voedingsstromen: +/-7 mA max.
- ingangs-parameters:
  - spanningsbereik: (V_{BB}-1 V), -1 V
  - stroombereik: 1 mA max.
- uitgangs-parameters:
  - uitgangsspanning: +/-11 V max.
  - uitgangsstroom: 10 mA max.
  - offsetspanning: +/-500 mV max.
- gegevens spanningsreferentie:
  - spanning: +2 V, +10 V
  - afwijking: +/-50 mV max.
  - uitgangsstroom: 2,5 mA max.
- overige gegevens:
  - bandbreedte: 400 kHz
  - slew-rate: 1,4 V/μs
  - nauwkeurigheid: figuur 11/2.2-57
  - bereik m-factor: 0,2 tot 5
  - dynamisch bereik: 1/1.000



Figuur 11/2.2-56: Aansluitgegevens en intern blokschema van de AD 538.

Voorbeeld-schakelingen
- figuur 11/2.2-58:

Basis-schema voor vermenigvuldigen en delen in één quadrant. De nauwkeurigheid van de schakeling wordt gegarandeerd over een dynamisch bereik van 1 op 1.000.
- figuur 11/2.2-59:

Basis-schema van een deler voor twee quadranten. In wezen werkt deze schakeling identiek aan deze voor één quadrant werking. De ingangen worden echter voorzien van een offsetspanning, waardoor het werkpunt wordt verschoven en ook negatieve spanningen of stromen aan de ingangen worden toegelaten.
- figuur 11/2.2-60:

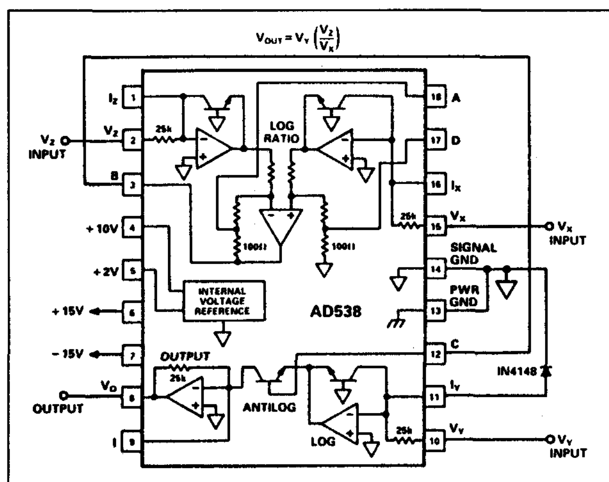
Voorbeeld van de trigonometrische berekeningen die men met de AD 538 kan uitvoeren. In dit schema wordt de boogtangens van de hoek berekend tussen twee grootheden

2.2 Type-beschrijving

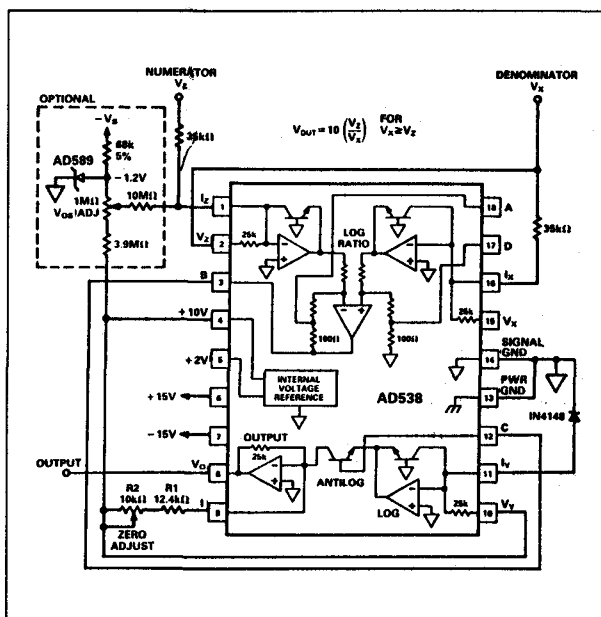
X en Z, waarbij de spanningen Ux en Uz recht evenredig moeten zijn met de hoekverplaatsingen. De nauwkeurigheid van de schakeling is groter dan 1 % tussen ingangsgrootheden van 100 µV tot 10 V.

	V_Y Input (in V)	V_Z Input (in V)	V_X Input (in V)	Ideal Output (in V)	Total Offset Error Term (in mV)	% of Reading Error Term (in mV)	Total Error Summation (in mV)	Total Error Summation as a % of the Ideal Output
100:1 INPUT RANGE	10	10	10	10	0.5 (AD) 0.25 (BD)	100 (AD) 50 (BD)	100.5 (AD) 50.25 (BD)	1.0 (AD) 0.5 (BD)
Total Error = ±% rdg ±Output V_{OS}	10	0.1	0.1	10	0.5 (AD) 0.25 (BD)	100 (AD) 50 (BD)	100.5 (AD) 50.25 (BD)	1.0 (AD) 0.5 (BD)
	1	1	1	1	0.5 (AD) 0.25 (BD)	10 (AD) 5 (BD)	10.5 (AD) 5.25 (BD)	1.05 (AD) 0.5 (BD)
	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5 (AD) 0.25 (BD)	1 (AD) 0.5 (BD)	1.5 (AD) 0.75 (BD)	1.5 (AD) 0.75 (BD)
WIDE DYNAMIC RANGE	1	0.10	0.01	10	28 (AD) 16.75 (BD)	200 (AD) 100 (BD)	228 (AD) 116.75 (BD)	2.28 (AD) 1.17 (BD)
Total Error = ±% rdg ±Output V_{OS}	10	0.05	2	0.25	1.76 (AD) 1 (BD)	5 (AD) 2.5 (BD)	6.76 (AD) 3.5 (BD)	2.7 (AD) 1.4 (BD)
±Input V_{OS} × $(V_Y+V_Z)/V_X$	5	0.01	0.01	5	125.75 (AD) 75.4 (BD)	100 (AD) 50 (BD)	225.75 (AD) 125.4 (BD)	4.52 (AD) 2.51 (BD)
	10	0.01	0.1	1	25.53 (AD) 15.27 (BD)	20 (AD) 10 (BD)	45.53 (AD) 25.27 (BD)	4.55 (AD) 2.53 (BD)

Figuur 11/2.2-57: Nauwkeurigheid van de diverse uitvoeringen van de AD 538 voor verschillende ingangscondities.

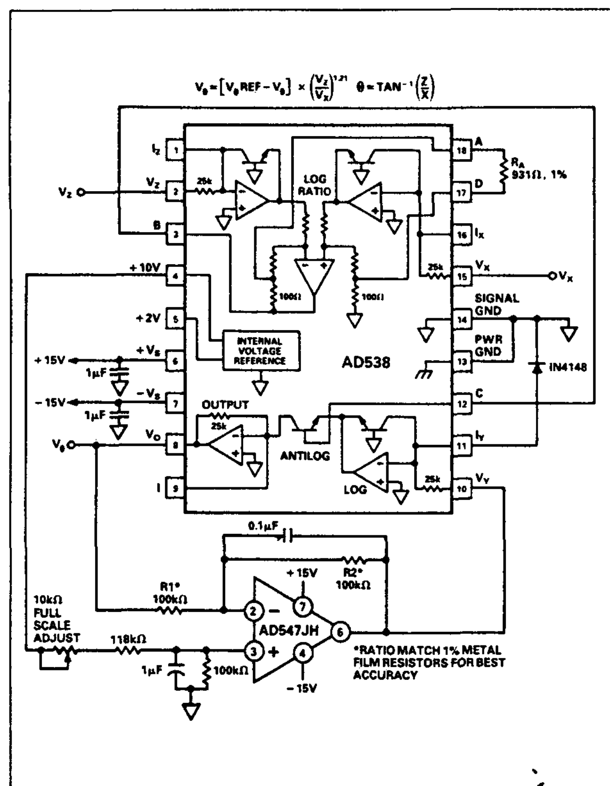


Figuur 11/2.2-58: Voorbeeld van een éénquadrant vermenigvuldiger en deler met de AD 538.



Figuur 11/2.2-59: Een tweequadrant deler rond de AD 538.

2.2 Type-beschrijving



Figuur 11/2.2-60: Een schakeling waarmee men de hoek kan berekenen tussen twee grootheden.

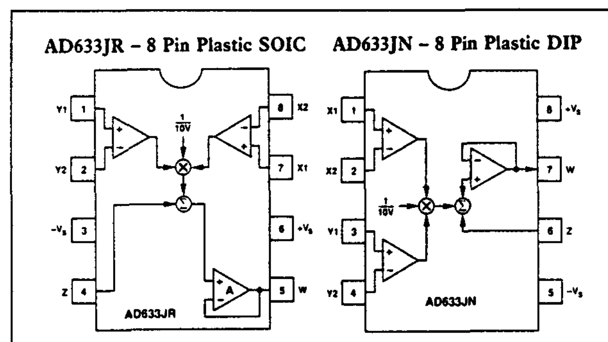
AD 633

vierquadrant, 1,0%, 1 MHz

De AD 633 is een goedkope vermenigvuldiger, met twee sets hoogimpedante differentiële ingangen X en Y en een extra ingang Z, die een schaalfactor kan invoeren of gebruikt kan worden voor het maken van een vermenigvuldiger met meer dan twee ingangsvariabelen. De uitgang levert een spanning over een lage uitgangsimpedantie. De AD 633 is leverbaar in twee verschillende pen-configuraties: AD 633JR en AD 633JN, beide in een DIL-8 behuizing.

Technische gegevens

- fabrikant: Analog Devices
- behuizing: DIL-8
- aansluitgegevens: figuur 11/2.2-61
- intern blokschema: figuur 11/2.2-61
- algemene parameters:
  - voedingsspanningen:
    +/-8 V min.
    +/-15 V typisch
    +/-18 V max.
  - voedingsstromen: +/-6 mA max.
- ingangs-parameters:
  - spanningsbereik: +/-10 V max.
  - biasstromen: 2,0 μA max.
  - ingangsimpedanties: 10 MΩ typisch
  - offsetspanningen: +/-5 mV typisch
- uitgangs-parameters:
  - uitgangsspanning: +/-11 V max.
  - uitgangsstroom: 30 mA max.
- overige gegevens:
  - bandbreedte: 1 MHz
  - slew-rate: 20 V/μs
  - settling-time: 2 μs typisch
  - nauwkeurigheid: +/-1 % typisch



Figuur 11/2.2-61: Aansluitgegevens en intern blokschema van de twee uitvoeringen van de AD 633.

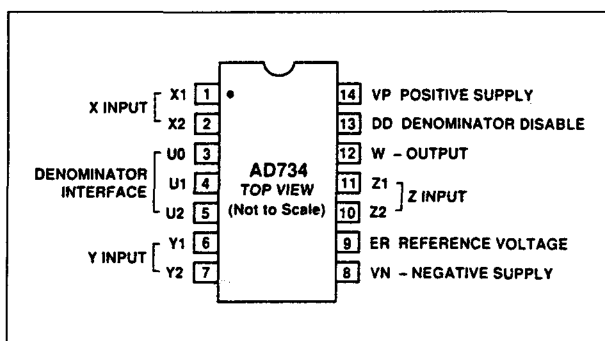
AD 734

vierquadrant, 0,1%, 10 MHz

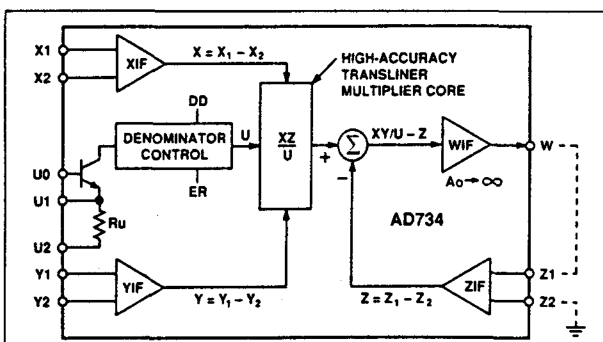
De AD 734 is een snelle vierquadrant vermenigvuldiger/deler, met twee differentiële spanningsingangen X en Y en een differentiële schaalfactor-ingang Z. De uitgang W levert een spanning over een lage uitgangsimpedantie. In de meeste toepassingen zijn geen externe componenten noodzakelijk voor het uitvoeren van de rekenkundige bewerking. De AD 734 beschikt over drie schaal-ingangen (denominatoren) U0, U1 en

2.2 Type-beschrijving

U2, waarvan de spanningen zijn afgeleid van een interne spanningsreferentie. Deze ingangen kunnen eventueel als een derde ingangsgrootheid worden gebruikt. De grote nauwkeurigheid waarmee de AD 734 wordt geleverd is een gevolg van nieuwe afregeltechnieken, waarbij lasertrimming met ***wisse***lspanningssignalen de basis vormt.



Figuur 11/2.2-62: Aansluitgegevens van de AD 734.



Figuur 11/2.2-63: Intern blokschema van de AD 734.

Technische gegevens

- fabrikant: Analog Devices
- behuizing: DIL-14
- aansluitgegevens: figuur 11/2.2-62
- intern blokschema: figuur 11/2.2-63
- algemene parameters:
  - voedingsspanningen:
    +/-4,5 V min.
    +/-15 V typisch
    +/-16,5 V max.
  - voedingsstromen: +/-12 mA max.
- ingangs-parameters:
  - spanningsbereik: +/-12,5 V
  - ingangsimpedanties: 5 kΩ typisch
  - ingangscapaciteiten: 2 pF typisch
  - biasstromen: 300 nA max.
  - offsetspanningen:
    X-ingangen: 15 mV max.
    Y-ingangen: 25 mV max.
    Z-ingangen: 20 mV max.
- uitgangs-parameters:
  - uitgangsspanning: +/-12 V max.
  - uitgangsstroom: 50 mA max.
- denominator gegevens:
  - bereik: 1.000/1
  - interface impedantie: 28 kΩ
- overige gegevens:
  - bandbreedte: 10 MHz
  - slew-rate: 450 V/μs
  - settling time: 125 ns
  - nauwkeurigheid:
    typisch: 0,1%
    AD 734A: 0,4% max.
    AD 734B: 0,25% max.
    AD 734S: 0,4% max.

Voorbeeld-schakelingen

- figuur 11/2.2-64:

Standaard-schema van een analoge vermenigvuldiger met twee verschilingangen over vier quadranten zonder denominator. De ingang Z wordt gebruikt voor het eventueel introduceren van een offset, een positieve of negatieve term die van het resultaat wordt afgetrokken of er bij wordt opgeteld.

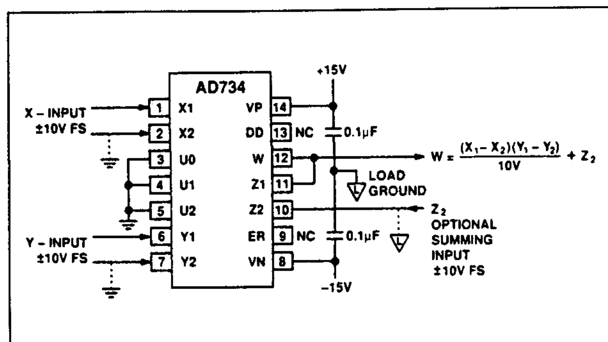
- figuur 11/2.2-65:

Basis-schema voor aan analoge deler Z/X met spanningsverschil ingangen, waarbij de Y-ingangen gebruikt kunnen worden als offset.

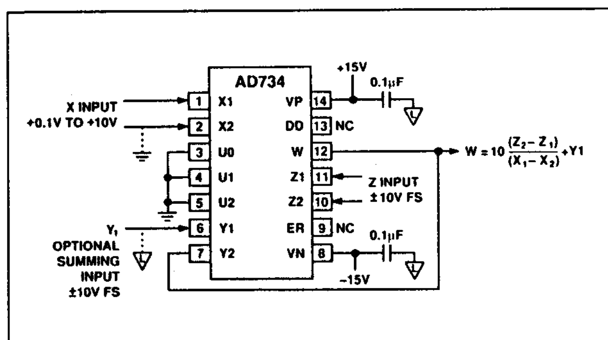
- figuur 11/2.2-66:

Voorbeeld van het gebruik van de denominator-ingangen U voor het introduceren van een derde ingangsgrootheid. Met de drie grootheden Y, X en U kan nu zowel vermenigvuldigd als gedeeld worden.

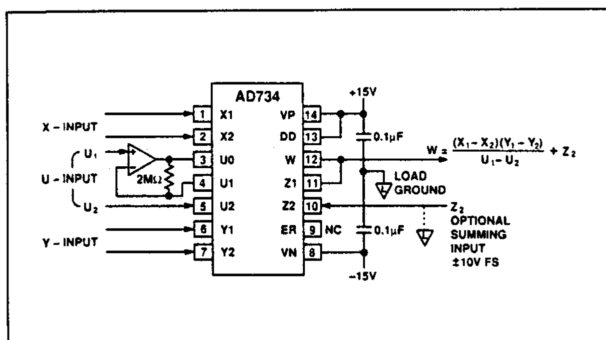
2.2 Type-beschrijving



Figuur 11/2.2-64: Voorbeeld van een vierquadrant vermenigvuldiger met de AD 734.



Figuur 11/2.2-65: Een deler met de AD 734.



Figuur 11/2.2-66: Voorbeeld van het gebruik van de denominator-ingangen van de AD 734.

AD 834

vierquadrant, 0,5%, 500 MHz

De AD 834 is een zeer breedbandige vierquadrant vermenigvuldiger, met differentiële ingangen X en Y en een differentiële stroomuitgang Y. De schakeling is afgeregeld op een uitgangsstroom van 4 mA bij ingangsspanningen X en Y van 1 V. Een van de speciale toepassingen van de AD 834 is zeer breedbandige true-RMS berekening. De fasefouten zijn extreem laag: 0,08 ° bij 5 MHz en slechts 0,8 ° bij 50 MHz.

Technische gegevens

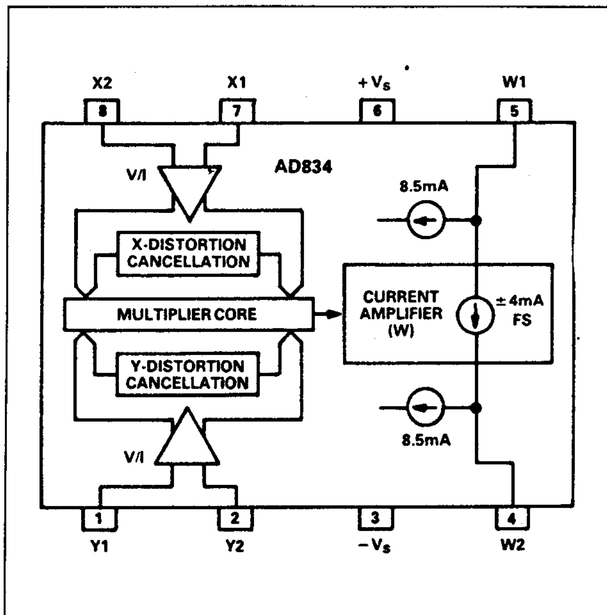
- fabrikant: Analog Devices
- behuizing: DIL-8
- aansluitgegevens: figuur 11/2.2-67
- intern blokschema: figuur 11/2.2-67
- algemene parameters:
  - voedingsspanningen:
    +/-4 V min.
    +/-5 V typisch
    +/-9 V max.
  - voedingsstromen: +/-35 mA max.
- ingangs-parameters:
  - spanningsbereik: +/-1 V max.
  - ingangsimpedanties: 25 kΩ typisch
  - biasstromen: 45 µA typisch
  - offsetspanningen: 3 mV max.
  - niet-lineariteiten: 0,5 % max.
  - vervormingen: -60 dB typisch
- uitgangs-parameters:
  - uitgangsstroom: 8,5 mA
  - verschilstroom Y1/Y2: +/-60 µA max.
  - schaalstroom: 3,96 tot 4,04 mA
- overige gegevens:
  - bandbreedte: 500 MHz min.
  - stijgtijd: 500 ps
  - nauwkeurigheid:
    +/-0,5 % typisch
    +/-2,0 % max.

Voorbeeld-schakelingen

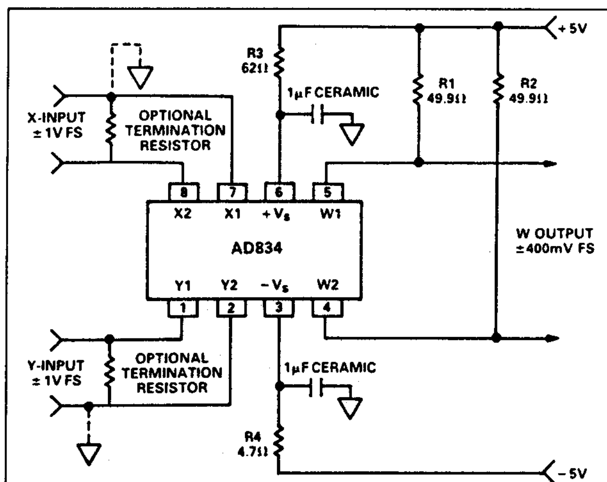
- figuur 11/2.2-68:

Basis-schema voor vermenigvuldigen met de AD 834. De twee uitgangen zijn open-collector transistortrappen, zodat de belastingsweerstanden R1 en R2 extern aangebracht moeten worden. Deze eindtrappen moeten echter gevoed worden met spanningen die iets hoger zijn dan de voedingsspanningen.

2.2 Type-beschrijving



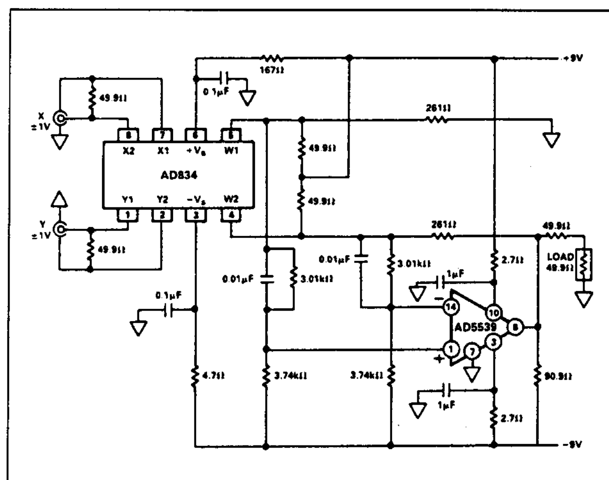
Figuur 11/2.2-67: Aansluitgegevens en intern blokschema van de AD 834.



Figuur 11/2.2-68: Basis-schakeling rond de AD 834, waarbij de uitgangsgrootheid wordt geleverd onder de vorm van een differentiële stroom.

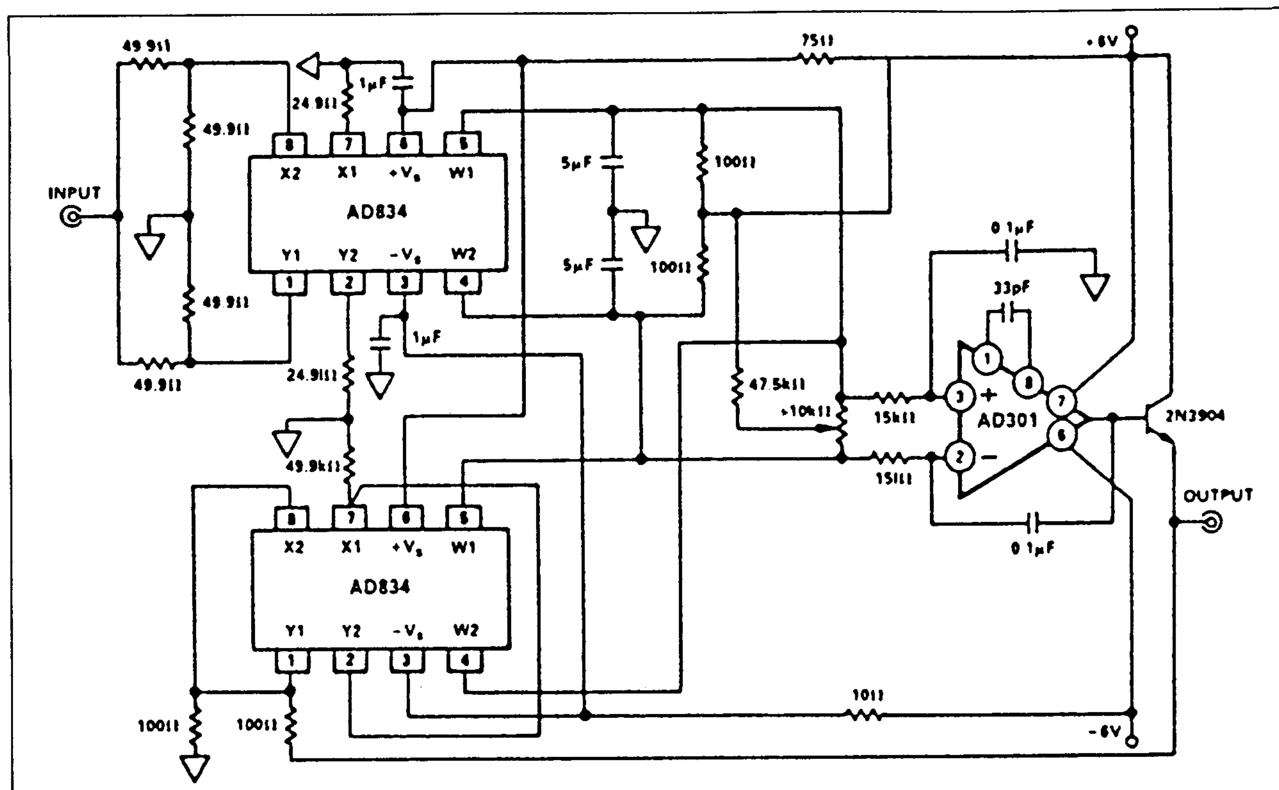
Vandaar dat in de twee voedingsleidingen kleine weerstanden R3 en R4 in serie zijn geschakeld.
- figuur 11/2.2-69:

Door de twee uitgangen W1 en W2 aan te sluiten op een geïntegreerde stroom naar spanning omzetter ontstaat een uitgangsspanning W, waarvan de waarde gegeven wordt door de uitdrukking:
W=(X1-X2).(Y1-Y2)
Uiteraard moet de gebruikte operationele versterker aangepast zijn aan de grote bandbreedte van de AD 834. De in het voorbeeld gebruikte AD 5539 zorgt voor een totale bandbreedte van ongeveer 100 MHz.
- figuur 11/2.2-70:
Schakeling van een zeer breedbandige true-RMS gelijkrichter. Twee AD 834 multipliers worden gebruikt voor het uitvoeren van de mathematische bewerking op de wisselspanning aan de ingang.
De filtercomponenten leggen de minimale frequentie vast op 1 kHz. De maximale frequentie van het ingangssignaal bedraagt ongeveer 300 MHz. De schakeling heeft een versterking van 1: de gelijkspanning op de uitgang is dus exact gelijk aan de echte effectieve waarde van de wisselspanning aan de ingang. De potentiometer in de ingangskring van de AD 301 wordt gebruikt voor het compenseren van de offset's van de verschillende schakelingen. Het spanningsbereik van de ingang gaat tot +15 dB_m.



Figuur 11/2.2-69: Met deze schakeling kan de differentiële uitgangsstroom worden omgezet in een spanning ten opzichte van de massa.

2.2 Type-beschrijving



Figuur 11/2.2-70: Een zeer breedbandige echte effectieve waarde gelijkrichter met een omzettingsfactor van een.

LH 0094

analoge computer, 0,25 → 1%, 10 kHz

De LH 0094 is een analoge computer, die beschikt over drie enkelvoudige X, Y en Z spanningsingangen. De X- en Z-ingangen worden aan een schakeling aangeboden die de logaritmische verhouding tussen beide spanningen berekent.
De transfer-formule van de LH 0094 is:

$U_{out}=U_Y.[U_Z/U_X]^m$

Met de LH 0094 kan men volgende berekeningen uitvoeren:
- vermenigvuldigen;
- delen;
- worteltrekken;
- macht verheffen;
- trigonometrische berekeningen;
- logaritmische berekeningen.

Er zijn geen externe componenten noodzakelijk voor de basis-bewerkingen delen en vermenigvuldigen. Tussen de pennen 6, 7 en 8 zijn intern twee in serie geschakelde weerstanden van 100 Ω aanwezig (pen 7 is middenaftakking), die gebruikt kunnen worden voor het instellen van de factor m op een waarde tussen 0,1 en 10.

Technische gegevens

- fabrikant: NatSemi
- behuizing: DIL-16
- aansluitgegevens: figuur 11/2.2-71
- intern blokschema: figuur 11/2.2-72
- algemene parameters:
  - voedingsspanningen:
    +/-15 V typisch
    +/-22 V max.
  - voedingsstromen: +/-5 mA max.
- ingangs-parameters:

2.2 Type-beschrijving

  - spanningsbereik: +/-22 V max.
  - ingangsimpedanties: 100 kΩ typisch
- uitgangs-parameters:
  - uitgangsspanning: +/-12 V max.
  - offsetspanning: +/-10 mV max.
  - uitgangsimpedantie: 1,0 Ω typisch
- overige gegevens:
  - bandbreedte: 10 kHz
  - nauwkeurigheid: figuur 11/2.2-73
  - bereik m-factor: 0,1 tot 10

Voorbeeld-schakelingen

- figuur 11/2.2-74:

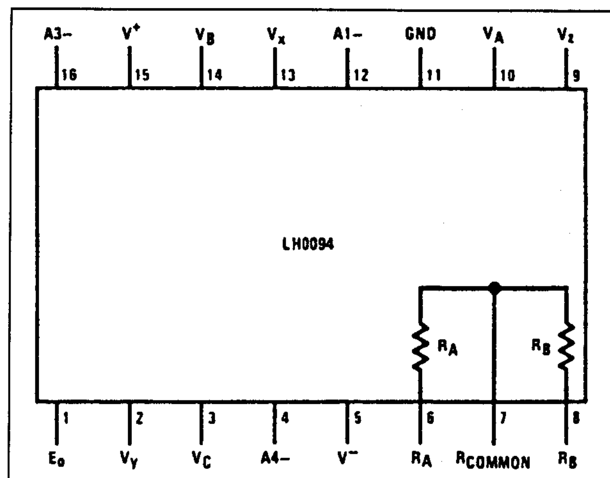
Basis-schema voor vermenigvuldigen van de grootheden Y en Z in één quadrant. Er is slechts één trimmer noodzakelijk voor het afregelen van de schakeling. Stel Y en Z in op 10,00 V en regel de uitgang af op 10,00 V. Door de externe trimming wordt de nauwkeurigheid van deze schakeling gegarandeerd op 0,02 %. De clampdiode D1 wordt aanbevolen als de ingangen open kunnen staan of aangesloten op negatieve spanningen.

- figuur 11/2.2-75:

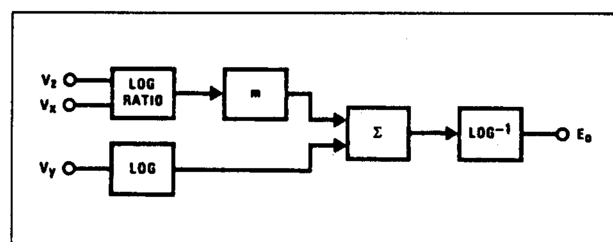
Basis-schema van een deler voor één quadrant.

- figuur 11/2.2-76:

Een worteltrekker, waarbij door de waarde van m gelijk te stellen aan 1/2 de wortelfactor precies gelijk wordt aan 1/2. De schakeling berekent dus de vierkantswortel van de twee ingangsgrootheden.



Figuur 11/2.2-71: Aansluitgegevens van de LH 0094.

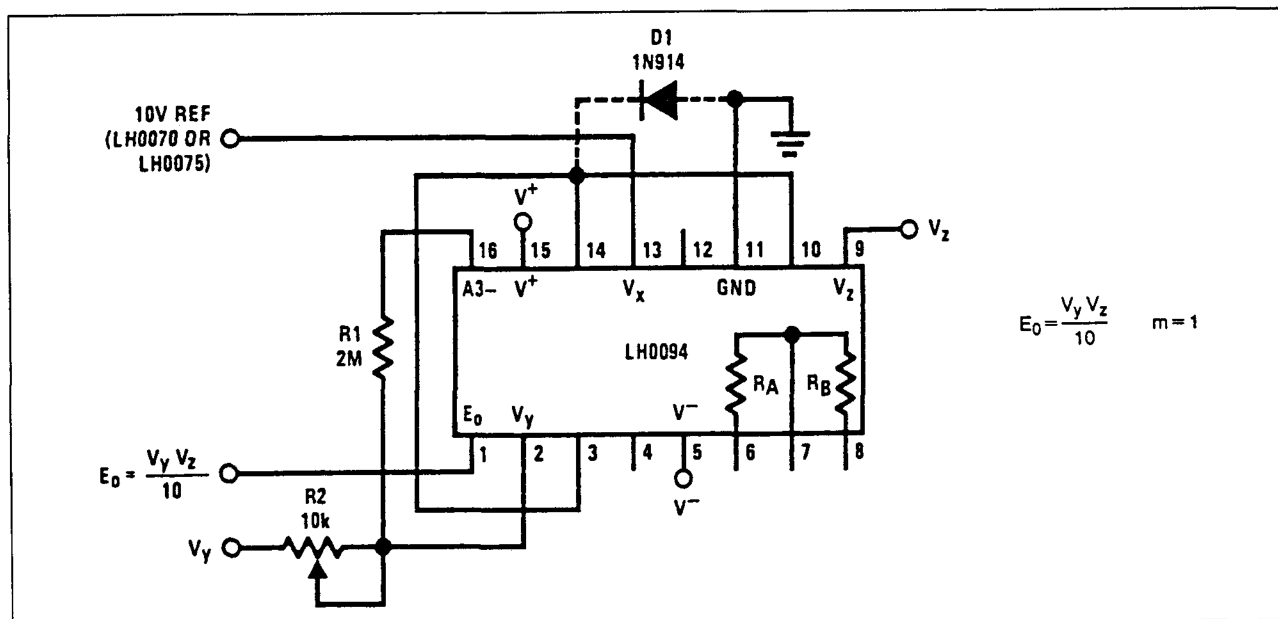


Figuur 11/2.2-72: Intern schema van de LH 0094.

2.2 Type-beschrijving

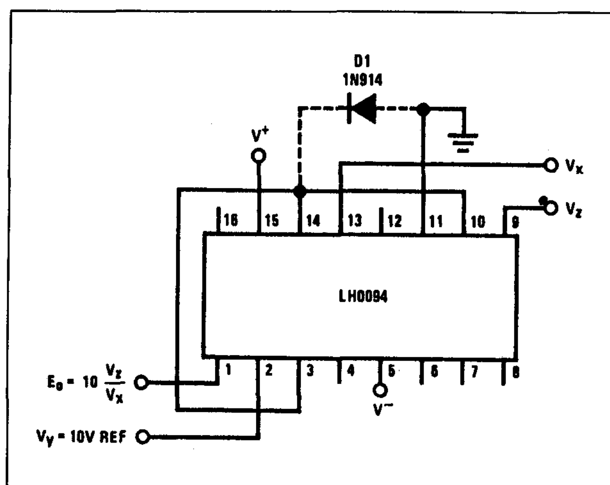
Parameter	Conditions	LH0094			LH0094C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
ACCURACY								
Multiply	$E_O = V_Z V_Y$ (0.03 ≤ V_Y ≤ 10V; 0.01 ≤ V_Z ≤ 10V)							% F.S.
Untrimmed	*(Figure 2)*		0.25	0.45		0.45	0.9	(10V)
External Trim	*(Figure 3)*		0.10			0.1		% F.S.
	vs. Temperature		0.2			0.2		mV/°C
Divide	$E_O = 10V_Z/V_X$							
Untrimmed	*(Figure 4)*, 0.5 ≤ V_X ≤ 10; 0.01 ≤ V_Z ≤ 10)		0.25	0.45		0.45	0.9	% F.S.
External Trim	*(Figure 5)*, (0.1 ≤ V_X ≤ 10; 0.01 ≤ V_Z ≤ 10)		0.10			0.1		% F.S.
	vs. Temperature		0.2			0.2		mV/°C
Square Root	$E_O = 10\sqrt{V_Z/10}$							
Untrimmed	*(Figure 8)*, (0.03 ≤ V_Z ≤ 10		0.25	0.45		0.45	0.9	% F.S.
External Trim	*(Figure 9)*, (0.01 ≤ V_Z ≤ 10		0.15			0.15		% F.S.
Square	$E_O = 10\ (V_Z/10)^2$ (0.1 ≤ V_Z ≤ 10)							
Untrimmed	*(Figure 6)*	0.5	1.0		1.0	2.0	% F.S.	
External Trim	*(Figure 7)*	0.15			0.15		% F.S.	
Low Level	$E_O = \sqrt{10V_Z}$; 5.0mV ≤ V_Z ≤ 10V, *(Figure 10)*		0.05			0.05		% F.S.
Square Root								
Exponential	m = 0.2, $E_O = 10\ (V_Z/10)^2$ *(Figure 11)*, (0.1 ≤ V_Z ≤ 10)		0.05			0.08		% F.S.
Circuits	m = 5.0, $E_O = 10\ (V_Z/10)^5$ *(Figure 11)*, (1.0 ≤ V_Z ≤ 10)		0.05			0.08		% F.S.

Figuur 11/2.2-73: De nauwkeurigheid van de twee uitvoeringen van de LH 0094 voor verschillende berekeningen.

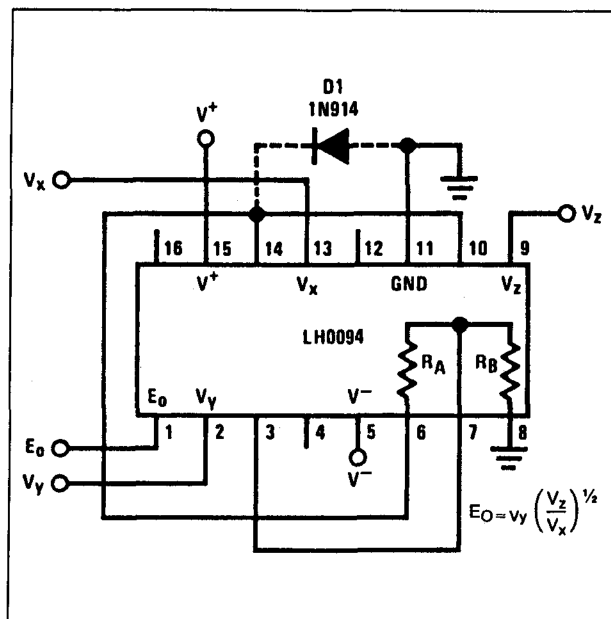


Figuur 11/2.2-74: Een éénquadrant vermenigvuldiger, waarbij de nauwkeurigheid door externe trimming op +/-0,02 % kan worden afgeregeld.

2.2 Type-beschrijving



Figuur 11/2.2-75: Een deler rond de LH 0094.

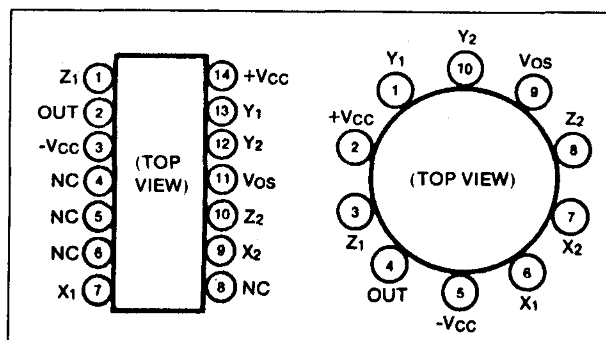


Figuur 11/2.2-76: Een schakeling die de vierkantswortel berekent uit twee grootheden.

MPY 100

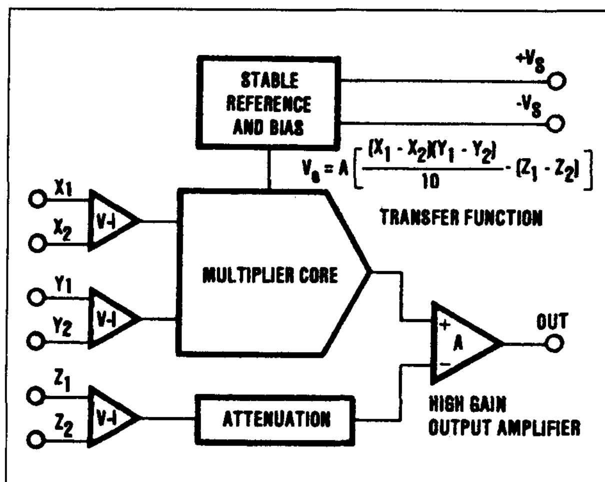
vierquadrant, 0,05 → 0,5%, 550 kHz

De MPY 100 is een vierquadrant vermenigvuldiger/deler, met twee differentiële spanningsingangen X en Y en een differentiële schaalfactor-ingang Z.



Figuur 11/2.2-77: Aansluitgegevens van de MPY 100.

De uitgang levert een spanning over een lage uitgangsimpedantie. In de meeste toepassingen zijn geen externe componenten noodzakelijk voor het uitvoeren van de rekenkundige bewerking.



Figuur 11/2.2-78: Intern blokschema van de MPY 100.

Technische gegevens

- fabrikant: Burr-Brown
- behuizing: DIL-14, TO-100
- aansluitgegevens: figuur 11/2.2-77
- intern blokschema: figuur 11/2.2-78
- algemene parameters:
  - voedingsspanningen:
    +/-8,5 V min.
    +/-15 V typisch
    +/-20 V max.
  - voedingsstromen: +/-5,5 mA max.
- ingangs-parameters:

2.2 Type-beschrijving

MODEL		MPY100A			MPY100B/C			MPY100S			
PARAMETER	**CONDITIONS**	**MIN**	**TYP**	**MAX**	**MIN**	**TYP**	**MAX**	**MIN**	**TYP**	**MAX**	**UNITS**
MULTIPLIER PERFORMANCE											
Transfer Function			$\frac{(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{10} + Z_2$			*/*			*		
Total Error	$-10V \leq X, Y \leq 10V$										
Initial	$T_A = +25°C$			±2.0			±1.0/0.5			±0.5	% FSR
vs. Temperature	$-25°C \leq T_A \leq +85°C$		±0.017	±0.05		±0.008/0.008	±0.02/0.02				% FSR/°C
vs. Temperature	$-55°C \leq T_A \leq +125°C$								±0.025	±0.05	% FSR/°C
vs. Supply(1)			±0.05			*/*			*		% FSR/%
Individual Errors											
Output Offset											
Initial	$T_A = +25°C$		±50	±100		±10/7	±50/25		±7	±50mV	mV
vs. Temperature	$-25°C \leq T_A \leq +85°C$		±0.7	±2.0		±0.7/0.3	±2.0/±0.7				mV/°C
vs. Temperature	$-55°C \leq T_A \leq +125°C$								±0.3	±0.7	mV/°C
vs. Supply(1)			±0.25			*/*			*		mV/%
Scale Factor Error											
Initial	$T_A = +25°C$		±0.12			*/*			*		% FSR
vs. Temperature	$-25°C \leq T_A \leq +85°C$		±0.008			*/*					% FSR/°C
vs. Temperature	$-55°C \leq T_A \leq +125°C$								±0.008		% FSR/°C
vs. Supply(1)			±0.05			*/*			*		% FSR/%
Nonlinearity											
X Input	X = 20V, p-p; Y = ±10VDC		±0.08			*/*			*		% FSR
Y Input	Y = 20V, p-p; X = ±10VDC		±0.08			*/*			*		% FSR
Feedthrough	f = 50Hz										
X Input	X = 20V, p-p; Y = 0		100			30/30			30		mV, p-p
Y Input	Y = 20V, p-p; X = 0		6			*/*			*		mV, p-p
vs. Temperature	$-25°C \leq T_A \leq +85°C$		0.1			*/*					mV, p-p/°C
vs. Temperature	$-55°C \leq T_A \leq +125°C$								0.1		mV, p-p/°C
vs. Supply(1)			0.15			*/*			*		mV, p-p/%
DIVIDER PERFORMANCE											
Transfer Function	$X_1 > X_2$		$\frac{10(Z_2 - Z_1)}{(X_1 - X_2)} + Y_1$			*/*			*		
Total Error (with external adjustments)	X = 10V, $-10V \leq Z \leq +10V$		±1.5			±0.75/0.35			±0.35		% FSR
	X = 1V, $-1V \leq Z \leq +1V$		±4.0			±2.0/1.0			±1.0		% FSR
	$+0.2V \leq X \leq +10V$, $-10V \leq Z \leq +10V$		±5.0			±2.5/1.0			±1.0		% FSR

Figuur 11/2.2-79: De nauwkeurigheid van de leverbare versies van de MPY 100.

- spanningsbereik: +/-10 V
- ingangsimpedanties: 10 MΩ typisch
- biasstromen: 1,4 µA max.

- uitgangs-parameters:
  - uitgangsspanning: +/-10 V max.
  - uitgangsstroom: +/-5 mA max.
  - uitgangsimpedantie: 1,5 Ω typisch
- overige gegevens:
  - bandbreedte: 550 kHz
  - slew-rate: 20 V/µs
  - settling time: 2 µs
  - nauwkeurigheid: figuur 11/2.2-79

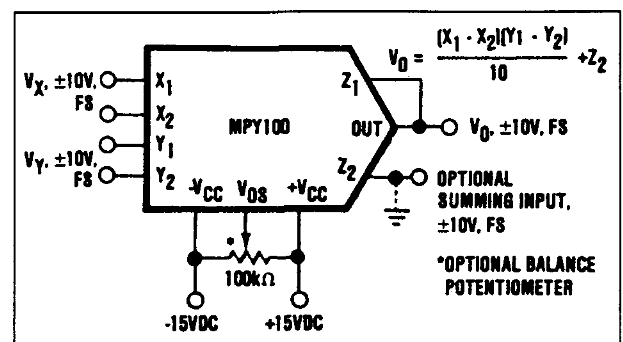
Voorbeeld-schakelingen

– figuur 11/2.2-80:

Standaard-schema van een analoge vermenigvuldiger met twee verschilingangen over vier quadranten. De ingang Z wordt gebruikt voor het eventueel introduceren van een offset, een positieve of negatieve term die van het resultaat wordt afgetrokken of opgeteld. Met de potentiometer van 100 kΩ kan de offset van de schakeling gecompenseerd worden.

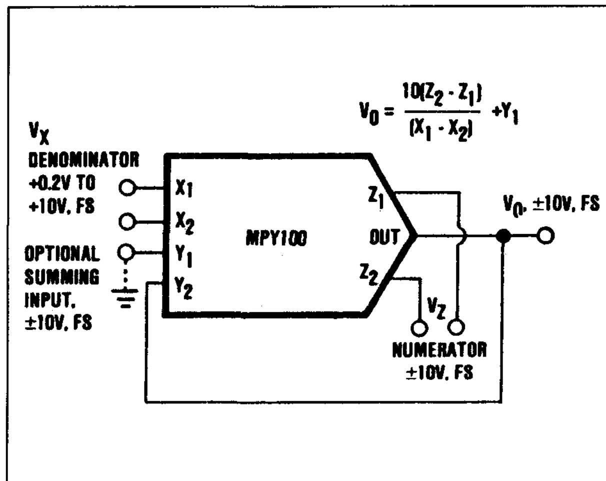
– figuur 11/2.2-81:

Basis-schema voor aan analoge deler Z/X met spanningsverschil ingangen, waarbij de Y-ingangen gebruikt kunnen worden als offset.



Figuur 11/2.2-80: Voorbeeld van een vierquadrant vermenigvuldiger met de MPY 100.

2.2 Type-beschrijving



Figuur 11/2.2-81: Een deler met de MPY 100.

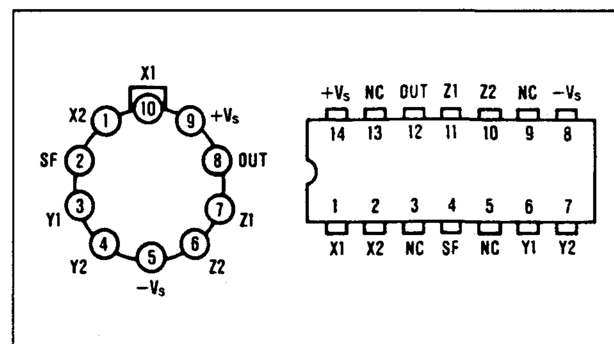
MPY 534

vierquadrant, 0,015 → 1,0%, 3 MHz

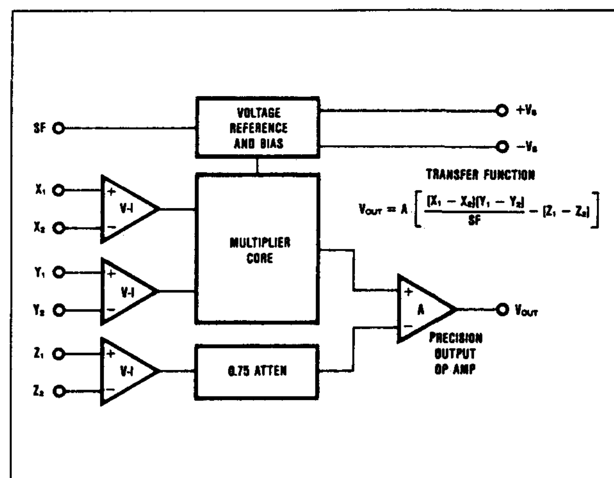
De MPY 534 is een vierquadrant vermenigvuldiger, met twee differentiële spanningsingangen X en Y en een differentiële schaalfactor-ingang Z. De uitgang levert een spanning over een lage uitgangsimpedantie. In de meeste toepassingen zijn geen externe componenten noodzakelijk voor het uitvoeren van de rekenkundige bewerking. Daarnaast bezit de MPY 534 een schaalfactor ingang SF, gevoed uit een interne referentiespanning.

Technische gegevens

- fabrikant: Burr-Brown
- behuizing: DIL-14, TO-100
- aansluitgegevens: figuur 11/2.2-82
- intern blokschema: figuur 11/2.2-83
- algemene parameters:
  - voedingsspanningen:
    +/-8 V min.
    +/-15 V typisch
    +/-18 V max.
  - voedingsstromen: +/-6 mA max.
- ingangs-parameters:
  - spanningsbereik: +/-12 V
  - ingangsimpedanties: 10 MΩ typisch
  - biasstromen: 2,0 μA max.
  - offsetspanningen:
    X-ingang: +/-20 mV
    Y-ingang: +/-20 mV
    Z-ingang: +/-30 mV
- uitgangs-parameters:
  - uitgangsspanning: +/-11 V max.
  - uitgangsstroom: +/-30 mA max.
  - uitgangsimpedantie: 0,1 Ω typisch
- overige gegevens:
  - bandbreedte: 3 MHz
  - slew-rate: 20 V/μs
  - settling time: 2 μs
  - nauwkeurigheid: figuur 11/2.2-84



Figuur 11/2.2-82: Aansluitgegevens van de MPY 534.



Figuur 11/2.2-83: Intern blokschema van de MPY 534.

2.2 Type-beschrijving

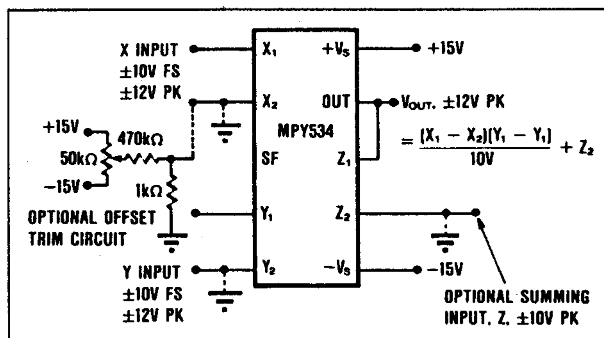
MODEL	MPY534J			MPY534K			MPY534L			MPY534S			MPY534T			
	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	UNITS
MULTIPLIER PERFORMANCE Transfer Function		•			$\frac{(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{10V} + Z_2$			•			•			•		
Total Error[1] (−10V ≤ X, Y ≤ +10V)			±1.0			±0.5			±0.25			±1 0			•	%
T_A = min to max		±1.5			±1.0			±0.5				±2.0			±1.0	%
Total Error vs Temperature		±0.022			±0.015			±0.008				±0.02			±0.01	%/°C
Scale Factor Error (SF = 10.000V Nominal)[2]		±0.25			±0.1			•			±0.25			•		%
Temperature Coefficient of Scaling Voltage		±0.02			±0.01			±0.005			±0.02				±0.005	%/°C
Supply Rejection (±15V ±1V)		•			±0.01			•			•			•		%
Nonlinearity: X (X = 20V pk-pk, Y = 10V)		±0.4			±0.2	±0.3		±0.10	±0.12		±0.4			•	•	%
Y (Y = 20V pk-pk, X = 10V)		•			±0.01	±0.1		±0.005	•		•			•	•	%
Feedthrough[3] X (Y Nulled, Y = 20V pk-pk, 50Hz)		±0.3			±0.15	±0.3		±0.05	±0.12		±0.3			•	•	%
Y (X Nulled, Y = 20V pk-pk, 50Hz)		•			±0.01	±0.1		±0.003	•		•			•	•	%
Output Offset Voltage		±5	±30		±2	±15		•	±10		±5	±30		•	•	mV
Output Offset Voltage Drift		200			100			•				500			300	µV/°C

Figuur 11/2.2-84: De nauwkeurigheid van de leverbare versies van de MPY 534.

Voorbeeld-schakeling

– figuur 11/2.2-85:

Standaard-schema van een analoge vermenigvuldiger met twee verschilingangen over vier quadranten. De ingang Z kan gebruikt worden voor het eventueel introduceren van een offset, een positieve of negatieve constante factor die het resultaat van de berekening beïnvloedt. Met de potentiometer van 50 kΩ kan de offset van de schakeling gecompenseerd worden.



Figuur 11/2.2-85: Voorbeeld van een vierquadrant vermenigvuldiger met de MPY 534.

MPY 600

vierquadrant, 0,5%, 75 MHz

De MPY 600 is een breedband vierquadrant vermenigvuldiger, met twee differentiële spanningsingangen X en Y en een differentiële schaalfactor-ingang Z. De uitgang levert een differentiële stroom, maar er is ook een spanningsuitgang aanwezig. In de meeste toepassingen zijn geen externe componenten noodzakelijk voor het uitvoeren van de rekenkundige bewerking.

Technische gegevens

- fabrikant: Burr-Brown
- behuizing: DIL-16
- aansluitgegevens: figuur 11/2.2-86
- intern blokschema: figuur 11/2.2-87
- algemene parameters:
  - voedingsspanningen:
    +/-4,75 V min.
    +/-5 V typisch
    +/-8 V max.
  - voedingsstromen: +/-35 mA max.
- ingangs-parameters:
  - spanningsbereik: +/-1 V
  - ingangsimpedantie: 100 kΩ typisch

2.2 Type-beschrijving

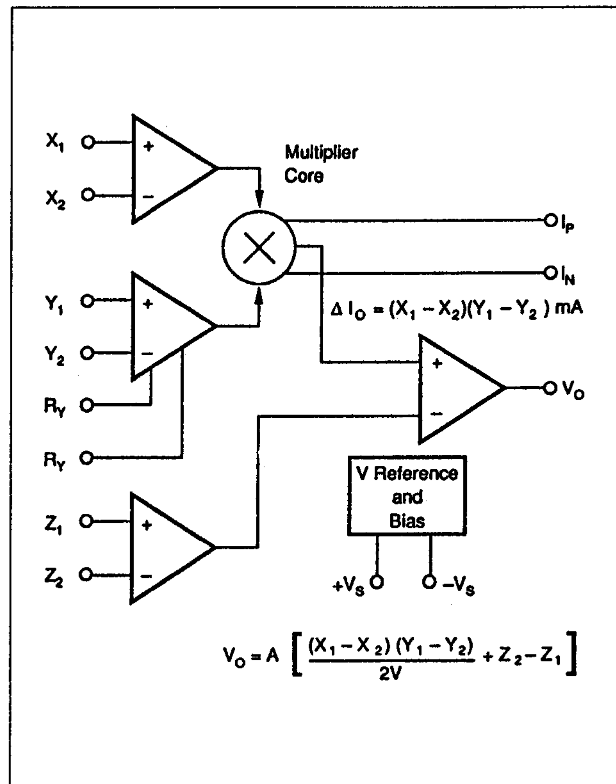
  - ingangscapaciteit: 1,5 pF typisch
  - biasstromen: 15 µA max.
  - offsetspanningen: +/-5 mV max.
- uitgangs-parameters:
  - uitgangsspanning: +/-3 V max.
  - uitgangsstroom: +/-5 mA max.
- overige gegevens:
  - bandbreedte:
    spanningsbedrijf: 30 MHz typisch
    stroombedrijf: 75 MHz typisch
  - slew-rate: 150 V/µs
  - settling time: 150 ns
  - nauwkeurigheid: 0,5% typisch

Voorbeeld-schakeling

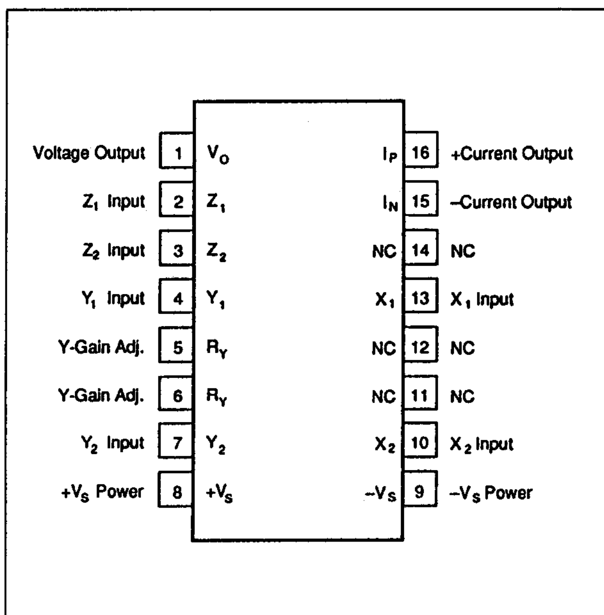
– figuur 11/2.2-88:

Standaard-schema van een analoge vermenigvuldiger met twee niet-gebalanceerde ingangen over vier quadranten en gebruik van de spanningsuitgang.

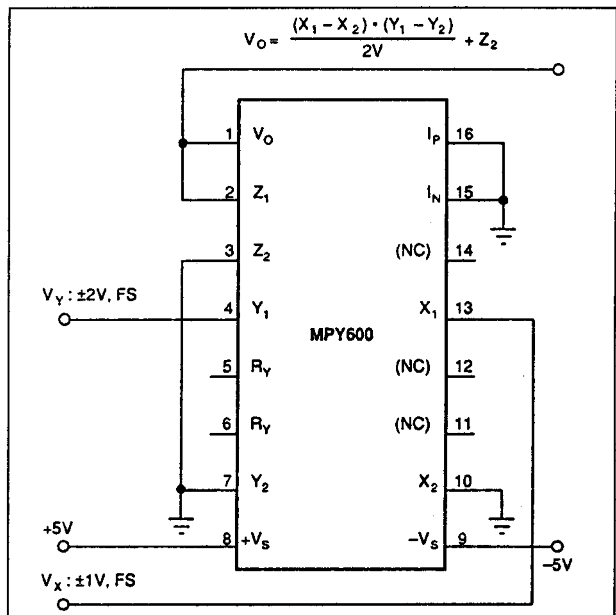
De ingang Z ligt hier aan de massa, maar kan eventueel gebruikt worden voor het introduceren van een som- of verschilterm in de transfer-formule.



Figuur 11/2.2-87: Intern blokschema van de MPY 600.



Figuur 11/2.2-86: Aansluitgegevens van de MPY 600.



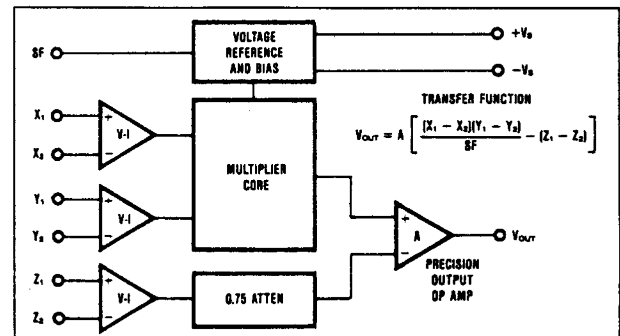
Figuur 11/2.2-88: Voorbeeld van een vierquadrant vermenigvuldiger met de MPY 600.

2.2 Type-beschrijving

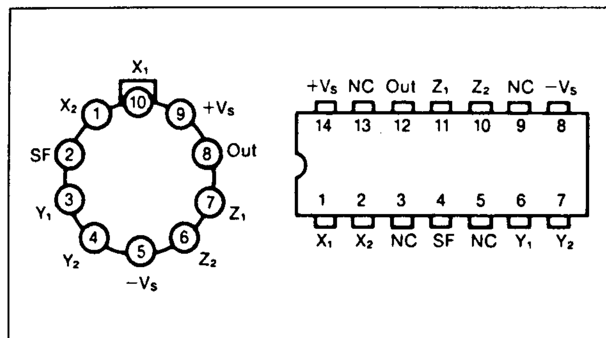
MPY 634

vierquadrant, 0,5%, 10 MHz

De MPY 634 is een vierquadrant vermenigvuldiger, met twee differentiële spanningsingangen X en Y en een differentiële schaalfactor-ingang Z. De uitgang levert een spanning over een lage uitgangsimpedantie. Er is een extra schaalfactor ingang SF aanwezig, waarmee de transfer-formule aangepast kan worden aan het beschikbare uitgangsbereik. In de meeste toepassingen zijn geen externe componenten noodzakelijk voor het uitvoeren van de rekenkundige bewerking.



Figuur 11/2.2-90: Intern blokschema van de MPY 634.



Figuur 11/2.2-89: Aansluitgegevens van de MPY 634.

Technische gegevens

- fabrikant: Burr-Brown
- behuizing: DIL-14, TO-100
- aansluitgegevens: figuur 11/2.2-89
- intern blokschema: figuur 11/2.2-90
- algemene parameters:
  - voedingsspanningen:
    +/-8 V min.
    +/-15 V typisch
    +/-18 V max.
  - voedingsstromen: +/-6 mA max.

MODEL	MPY634KP/KU			MPY634AM			MPY634BM			MPY634SM			UNITS
	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
MULTIPLIER PERFORMANCE													
Transfer Function		*			$\frac{(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{10V} + Z_2$			*			*		
Total Error[(1)]													
(−10V ≤ X, Y ≤ +10V)			±2.0			±1.0			±0.5			*	%
T_A = min to max		±2.5			±1.5			±1.0				±2.0	%
Total Error vs Temperature		±0.03			±0.022			±0.015				±0.02	%/°C
Scale Factor Error													
(SF = 10.000V Nominal)[(2)]		±0.25			±0.1			*			*		%
Temperature Coefficient of													
Scaling Voltage		±0.02			±0.01			±0.01			*		%/°C
Supply Rejection (±15V ±1V)		*			±0.01			*			*		%
Nonlinearity													
X (X = 20Vp-p, Y = 10V)		*			±0.4			0.2	±0.3		*		%
Y (Y = 20Vp-p, X = 10V)		*			±0.01			*	±0.1		*		%
Feedthrough[(3)]													
X (Y Nulled, Y = 20V p-p, 50Hz)		±0.3			±0.3			±0.15	±0.3		*		%
Y (X Nulled, Y = 20V p-p, 50Hz)		*			±0.01			*	±0.1		*		%
Both Inputs (500kHz, 1V rms)													
Unnulled	40[(4)]	50		45	55		*	60		*	*		dB
Nulled	55[(4)]	60		55	65		60	70		*	*		dB
Output Offset Voltage		±50	±100		±5	±30		*	±15		*	*	mV
Output Offset Voltage Drift		*			±200			±100			*	±500	μV/°C

Figuur 11/2.2-91: De nauwkeurigheid van de leverbare versies van de MPY 634.

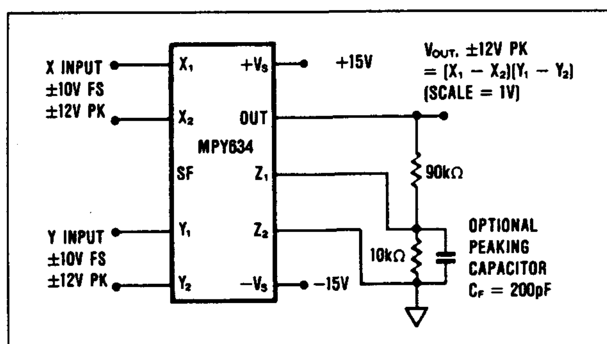
2.2 Type-beschrijving

- ingangs-parameters:
  - spanningsbereik: +/-12 V
  - ingangsimpedanties: 10 MΩ typisch
  - biasstromen: 2,0 μA max.
- uitgangs-parameters:
  - uitgangsspanning: +/-11 V max.
  - uitgangsstroom: +/-30 mA max.
  - uitgangsimpedantie: 0,1 Ω typisch
- overige gegevens:
  - bandbreedte: 10 MHz
  - slew-rate: 20 V/μs
  - settling time: 2 μs
  - nauwkeurigheid: figuur 11/2.2-91

Voorbeeld-schakeling

- figuur 11/2.2-92:

Standaard-schema van een analoge vermenigvuldiger met twee verschilingangen over vier quadranten en een schaalfactor van 1.



Figuur 11/2.2-92: Voorbeeld van een vier quadrant vermenigvuldiger met de MPY 634.

HA 2546

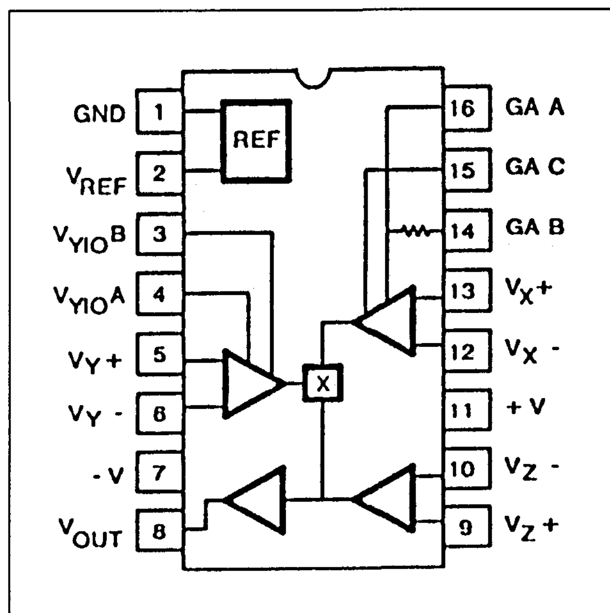
tweequadrant, 1,6%, 30 MHz

De HA 2546 is een tweequadrant vermenigvuldiger, met twee differentiële spanningsingangen X en Y en een differentiële schaalfactor-ingang Z.

De uitgang levert een spanning over een lage uitgangsimpedantie. De twee ingangen X en Y zijn voorzien van terugkoppelpennen, waarmee de versterking van de trappen kan ingesteld worden.

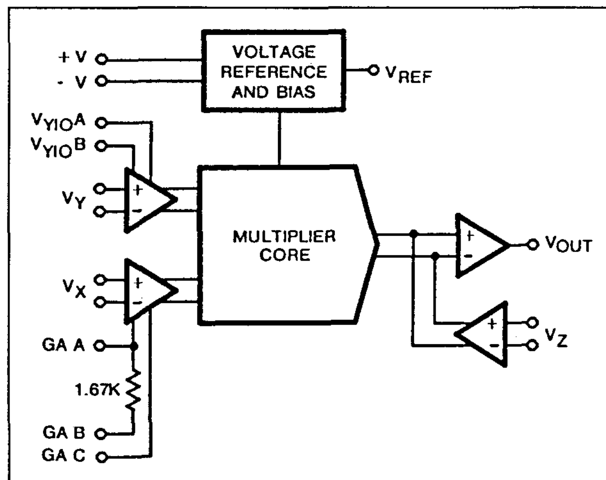
Technische gegevens

- fabrikant: Harris
- behuizing: DIL-16
- aansluitgegevens: figuur 11/2.2-93
- intern blokschema: figuur 11/2.2-94
- algemene parameters:
  - voedingsspanningen:
    +/-15 V typisch
    +/-17,5 V max.
  - voedingsstromen: +/-29 mA max.
- ingangs-parameters:
  - spanningsbereik: +/-6 V
  - ingangsimpedanties: 720 kΩ typisch
  - biasstromen: 15 μA max.
  - offsetstromen: 2 μA max.
  - offsetspanningen: 20 mV max.
- uitgangs-parameters:
  - uitgangsspanning: +/-6,25 V max.
  - uitgangsstroom: +/-45 mA max.
  - uitgangsimpedantie: 1,0 Ω typisch
- overige gegevens:
  - bandbreedte: 30 MHz typisch
  - slew-rate: 300 V/μs
  - settling time: 200 ns
  - nauwkeurigheid: 1,6% typisch



Figuur 11/2.2-93: Aansluitgegevens van de HA 2546.

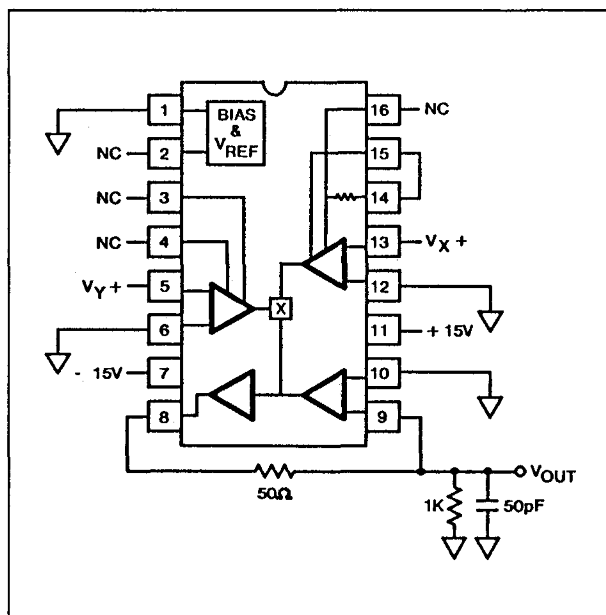
2.2 Type-beschrijving



Figuur 11/2.2-94: Intern blokschema van de HA 2546.

Voorbeeld-schakeling

– figuur 11/2.2-95:
Standaard-schema van een analoge vermenigvuldiger met twee enkelvoudige ingangen over twee quadranten.



Figuur 11/2.2-95: Voorbeeld van een tweequadrant vermenigvuldiger met de HA 2546.

HA 2547

tweequadrant, 1,6%, 100 MHz

De HA 2547 is een tweequadrant vermenigvuldiger, met twee differentiële spanningsingangen X en Y en een differentiële schaalfactor-ingang Z. De uitgang levert een stroom door een interne belastingsweerstand R_Z.
De twee ingangen X en Y zijn voorzien van terugkoppelpennen, waarmee de versterking van de trappen kan ingesteld worden.

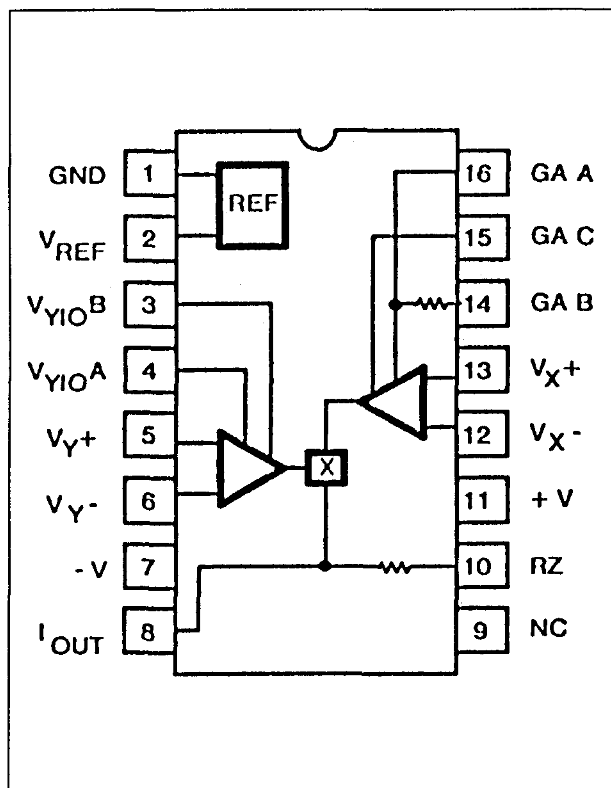
Technische gegevens

- fabrikant: Harris
- behuizing: DIL-16
- aansluitgegevens: figuur 11/2.2-96
- intern blokschema: figuur 11/2.2-97
- algemene parameters:
  - voedingsspanningen:
    +/-8 V min.
    +/-12 V typisch
    +/-15 V max.
  - voedingsstromen: +/-29 mA max.
- ingangs-parameters:
  - spanningsbereik: 2 V
  - ingangsimpedanties: 360 kΩ typisch
  - biasstromen: 1,2 μA max.
  - offsetstromen: 1,8 μA max.
  - offsetspanningen: 20 mV max.
- uitgangs-parameters:
  - uitgangsstroom: 2 mA
  - uitgangsimpedantie: 4 MΩ typisch
- overige gegevens:
  - bandbreedte: 100 MHz typisch
  - delay: 3 ns typisch
  - stijgtijd: 5 ns typisch
  - nauwkeurigheid: 1,6% typisch

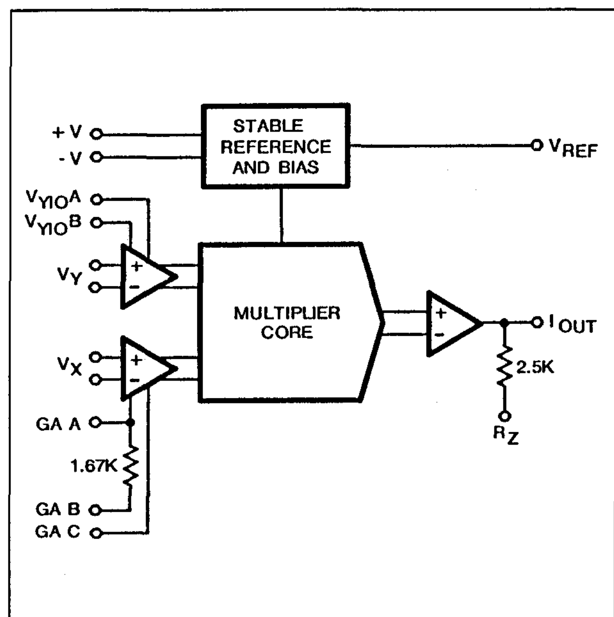
Voorbeeld-schakeling

– figuur 11/2.2-98:
Standaard-schema van een analoge vermenigvuldiger met twee enkelvoudige ingangen over twee quadranten.
De uitgangsstroom wordt door middel van een externe operationele versterker omgezet in een uitgangsspanning. De uitgangsspanning is gelijk aan $[U_X.U_Y]/2$.

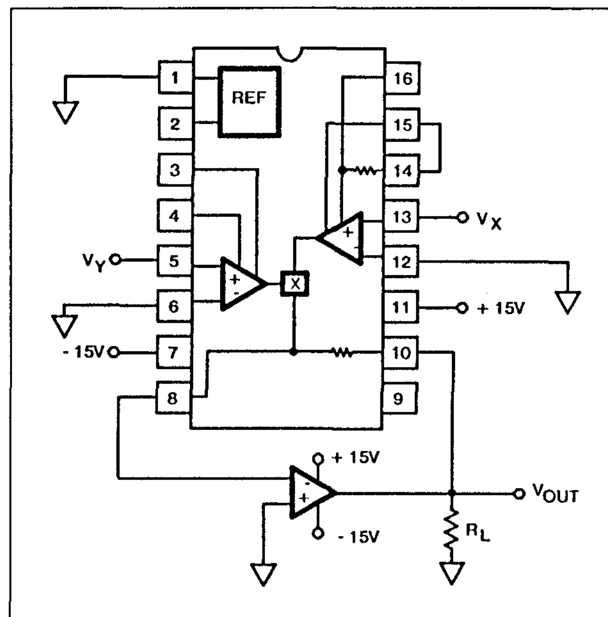
2.2 Type-beschrijving



Figuur 11/2.2-96: Aansluitgegevens van de HA 2547.



Figuur 11/2.2-97: Intern blokschema van de HA 2547.



Figuur 11/2.2-98: Voorbeeld van een tweequadrant vermenigvuldiger met de HA 2547.

HA 2556

vierquadrant, 1,5%, 30 MHz

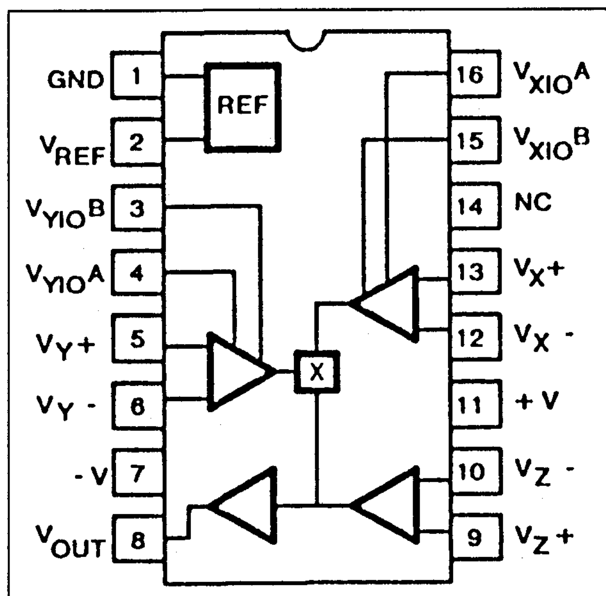
De HA 2556 is een vierquadrant vermenigvuldiger, met twee differentiële spanningsingangen X en Y en een differentiële schaalfactor-ingang Z. De uitgang levert een spanning over een lage uitgangsimpedantie. De twee ingangen zijn voorzien van terugkoppelpennen.

Technische gegevens

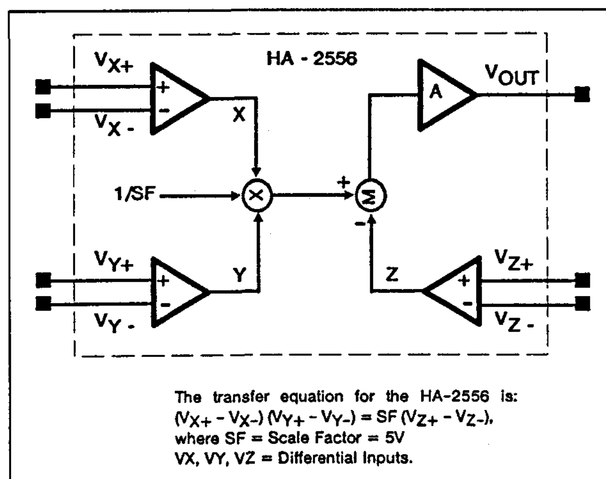
- fabrikant: Harris
- behuizing: DIL-16
- aansluitgegevens: figuur 11/2.2-99
- intern blokschema: figuur 11/2.2-100
- algemene parameters:
  - voedingsspanningen:
    +/-15 V typisch
    +/-17,5 V max.
  - voedingsstromen: +/-20 mA max.
- ingangs-parameters:
  - spanningsbereik: +/-5 V
  - ingangsimpedanties: 720 kΩ typisch
  - biasstromen: 10 µA max.
  - offsetstromen: 1 µA max.

2.2 Type-beschrijving

  - offsetspanningen: 10 mV max.
- uitgangs-parameters:
  - uitgangsspanning: +/-6,0 V max.
  - uitgangsstroom: +/-45 mA max.
  - uitgangsimpedantie: 1,0 Ω typisch
- overige gegevens:
  - bandbreedte: 30 MHz typisch
  - slew-rate: 350 V/µs
  - settling time: 200 ns
  - nauwkeurigheid: 1,5% typisch



Figuur 11/2.2-99: Aansluitgegevens van de HA 2556.

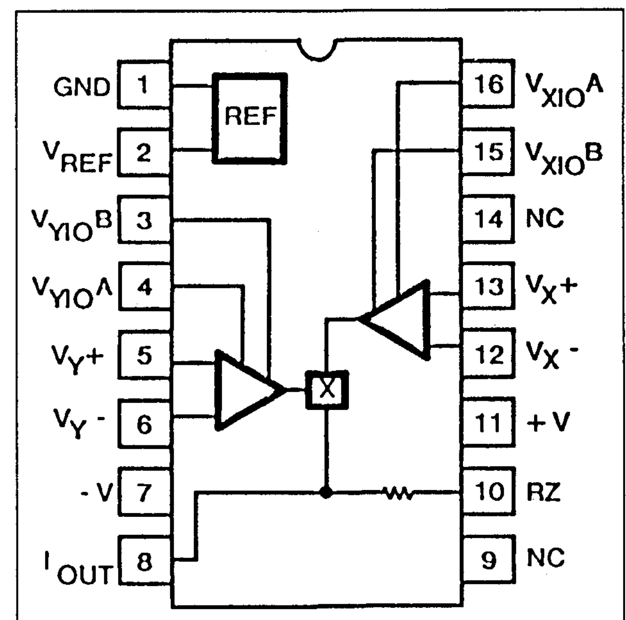


Figuur 11/2.2-100: Intern blokschema van de HA 2556.

HA 2557

vierquadrant, 1,5%, 100 MHz

De HA 2557 is een vierquadrant vermenigvuldiger, met twee differentiële spanningsingangen X en Y. De uitgang levert een stroom. De twee ingangen X en Y zijn voorzien van terugkoppelpennen, waarmee de versterking van de trappen kan ingesteld worden.



Figuur 11/2.2-101: Aansluitgegevens en intern blokschema van de HA 2547.

Technische gegevens

- fabrikant: Harris
- behuizing: DIL-16
- aansluitgegevens: figuur 11/2.2-101
- intern blokschema: figuur 11/2.2-101
- algemene parameters:
  - voedingsspanningen:
    +/-15 V typisch
    +/-17,5 V max.
  - voedingsstromen: +/-20 mA max.
- ingangs-parameters:
  - spanningsbereik: +/-4 V
  - ingangsimpedanties: 720 kΩ typisch
  - biasstromen: 10 µA max.
  - offsetstromen: 1 µA max.
  - offsetspanningen: 10 mV max.
- uitgangs-parameters:

2.2 Type-beschrijving

  - uitgangsstroom: +/-1,6 mA max.
  - uitgangsimpedantie: 1,5 MΩ typisch
- overige gegevens:
  - bandbreedte: 100 MHz typisch
  - nauwkeurigheid: 1,5% typisch

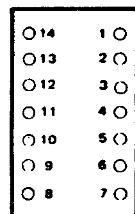
DIV 100

tweequadrant, 0,25%, 350 kHz

De DIV 100 is een tweequadrant deler in modulaire constructie, met twee spanningsingangen N en D en een spanningsuitgang V_O. De schakeling berekent de uitdrukking V_O=10.N/D.

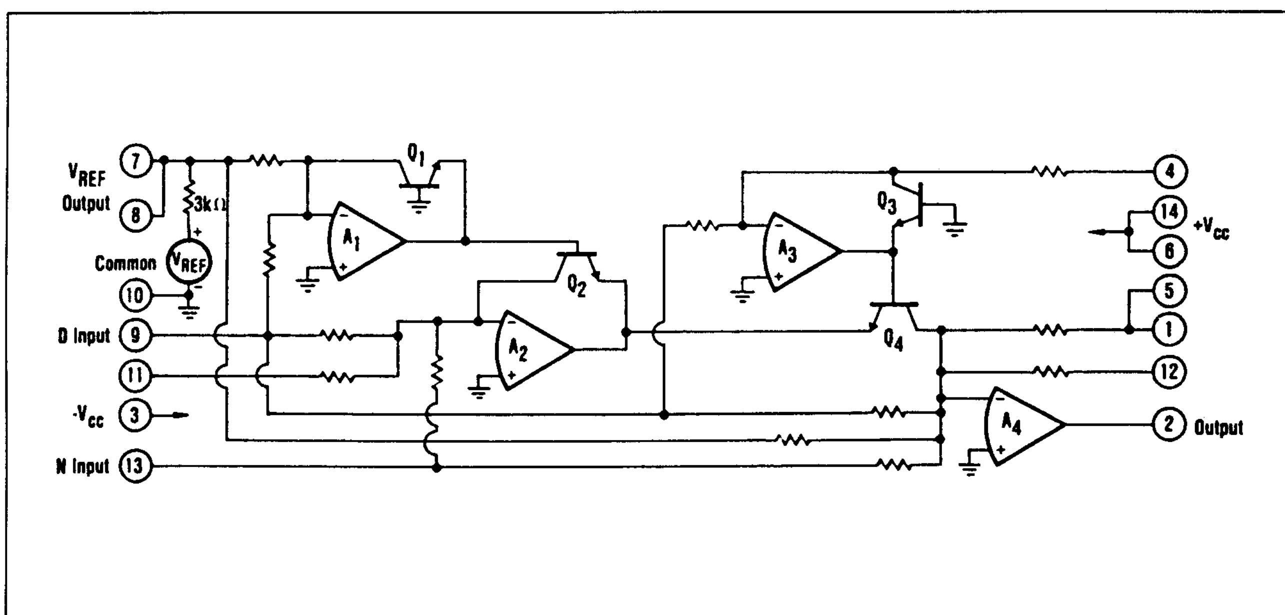
Technische gegevens
- fabrikant: Burr-Brown
- behuizing: speciaal
- aansluitgegevens: figuur 11/2.2-102
- intern blokschema: figuur 11/2.2-103
- algemene parameters:
  - voedingsspanningen:
    +/-12 V min.
    +/-15 V typisch
    +/-20 V max.
  - voedingsstromen: +/-10 mA max.
- ingangs-parameters:
  - spanningsbereik: +/-10 V
  - ingangsimpedanties: 25 kΩ typisch
- uitgangs-parameters:
  - uitgangsspanning: +/-10 V max.
  - uitgangsstroom: +/-5 mA max.
- overige gegevens:
  - bandbreedte: 350 kHz typisch
  - slew-rate: 2 V/μs
  - settling time: 15 μs
  - nauwkeurigheid: 0,25% typisch

1. Gain Error Adjust
2. Output
3. -Vcc
4. D Input Offset Adjust
5. Internally Connected to Pin 1
6. Internally Connected to Pin 14
7. Internally Connected to Pin 8
8. Reference Voltage
9. Denominator (D) Input
10. Common
11. N Input Offset Adjust
12. Output Offset Adjust
13. Numerator (N) Input
14. +Vcc



(Bottom View)

Figuur 11/2.2-102: Aansluitgegevens van de DIV 100.



Figuur 11/2.2-103: Intern blokschema van de DIV 100.

2.2 Type-beschrijving

4302

analoge computer, 0,07 → 0,5%, 500 kHz

De 4302 is een modulaire analoge computer, die beschikt over drie enkelvoudige ingangen X, Y en Z. De 4302 heeft als basistransferfunctie:

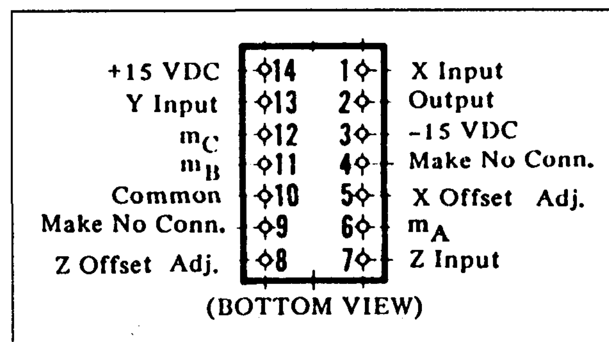
$U_{out}=U_Y.[U_Z/U_X]^m$

De AD 538 is geschikt voor:
- vermenigvuldiging;
- deling;
- worteltrekking;
- macht verheffing;
- sinus berekening;
- cosinus berekening;
- boogtangens berekening;
- gemiddelde waarde berekening;
- logaritmische berekeningen.

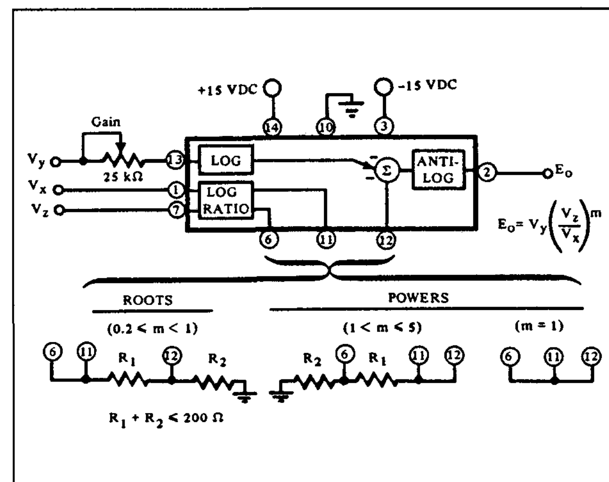
Technische gegevens
- fabrikant: Burr-Brown
- behuizing: speciaal
- aansluitgegevens: figuur 11/2.2-104
- intern blokschema: figuur 11/2.2-105
- algemene parameters:
  - voedingsspanningen:
    +/-12 V min.
    +/-15 V typisch
    +/-18 V max.
  - voedingsstromen: +/-10 mA max.
- ingangs-parameters:
  - spanningsbereik: 10 V
  - ingangsimpedantie: 100 kΩ typisch
- uitgangs-parameters:
  - uitgangsspanning: +/-10 V max.
  - uitgangsstroom: 5 mA max.
- overige gegevens:
  - bandbreedte: 500 kHz
  - nauwkeurigheid: figuur 11/2.2-106

Voorbeeld-schakeling
- figuur 11/2.2-107:

Analoge deler met de 4302. Met de potentiometers R2 en R3 worden de offset's van de ingangstrappen gecompenseerd. De instelpotentiometer R1 wordt gebruikt voor het ijken van de schakeling: beide ingangen op +10,00 V instellen, potmeter instellen tot de uitgangsspanning gelijk is aan +10,00 V. De schakeling berekent de uitdrukking: $U_o=+10.[U_1/U_3]$.



Figuur 11/2.2-104: Aansluitgegevens van de 4302.

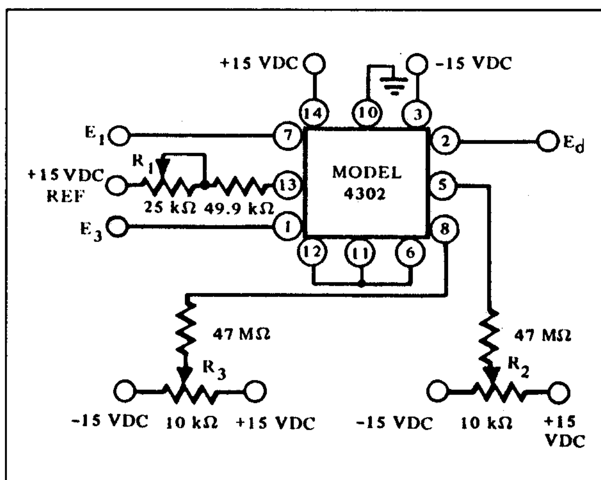


Figuur 11/2.2-105: Intern blokschema van de 4302.

2.2 Type-beschrijving

FUNCTIONS	ACCURACY
MULTIPLY	±0.25%
DIVIDE	±0.25%
SQUARE	±0.03%
SQUARE ROOT	±0.07%
EXPONENTIATE	±0.15% (m = 5)
ROOTS	±0.2% (m = .2)
SINE θ	±0.5%
COSINE θ	±0.8%
TAN $^{-1}$ (Y/X)	±0.6%
$\sqrt{X^2 + Y^2}$	±0.07%

Figuur 11/2.2-106: De nauwkeurigheid van de 4302 voor de verschillende berekeningen.



Figuur 11/2.2-107: Een analoge deler met de 4302.

11/4

RMS-omzetters

Inhoud

11/4.1

Achtergrond-informatie

Fysische benadering van de effectieve waarde

Wisselspanningen, al dan niet symmetrisch, al dan niet periodisch, al dan niet gesuperponeerd op een gelijkspanning, hebben één basis-eigenschap gemeen. De momentele grootte van de spanning is niet constant, maar afhankelijk van het moment waarop men de meting uitvoert.
Zuiver sinusoidale symmetrische spanningen kunnen worden gedefinieerd door de maximale waarde U_m en door de periode τ. Kent men deze twee gegevens, dan kan men wiskundig het verloop van de spanning in functie van de tijd omschrijven door de formule:

$U_t = U_m \sin \omega t$

met

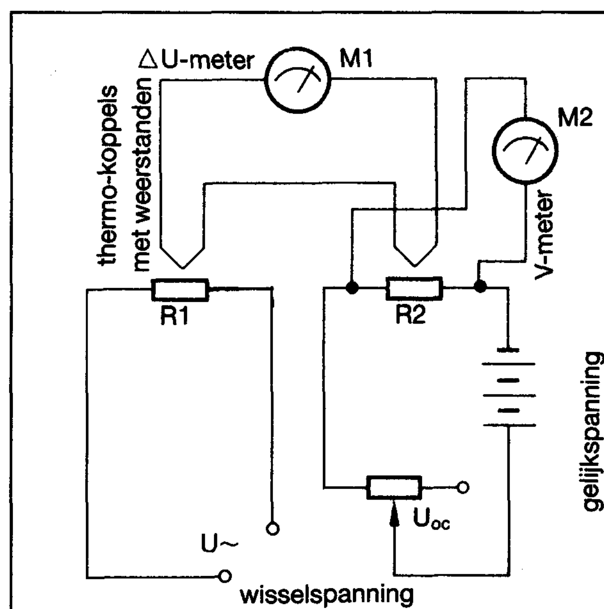
$\omega = 2 \pi f$

en

$f = \frac{1}{\tau}$

Er bestaan echter in de elektronica-praktijk vele niet sinusoidale wisselspanningen en zelfs niet periodieke signalen, zoals ruis.
Hoewel het in theorie mogelijk is iedere spanningsvorm vast te leggen in een wiskundige formule middels de theorie van Fourier is toch de behoefte ontstaan de grootte van een willekeurige wisselspanning fysisch tastbaar te maken.
Men heeft gekozen voor het invoeren van de definitie van de effectieve waarde van een wisselspanning.
De effectieve waarde van een wisselspanning is gelijk aan de waarde van een gelijkspanning die in een bepaalde zuiver ohmse weerstand hetzelfde thermische vermogen opwekt als de wisselspanning waarvan men de effectieve waarde wil weten.

De basis meetopstelling voor het meten van de effectieve waarde van een wisselspanning is getekend in figuur 11/4.1-1.



Figuur 11/4.1-1: Fysische verklaring van de effectieve waarde van een wisselspanning.

Twee volledig identieke weerstanden R1 en R2 zijn thermisch gekoppeld aan twee identieke thermo-koppels. De thermo-koppels zijn in serie geschakeld (+ van het ene verbonden met – van het andere) en aangesloten op een gevoelige nul-detector.
De te definiëren wisselspanning wordt aan-

4.1 Achtergrond-informatie

gesloten op de ene weerstand, over de andere weerstand staat een instelbare gelijkspanning. Deze laatste wordt met een zeer nauwkeurige gelijkspanningsmeter gemeten.
De twee spanningen veroorzaken stromen door de weerstanden, het gevolg is dat de weerstanden gaan opwarmen. Men kan de gelijkspanning nu zo afregelen dat beide weerstanden even warm worden (nuldetector op nul) en beide spanningen dus gelijke thermische vermogens opwekken. De effectieve waarde van de te definiëren wisselspanning wordt dan gelijkgesteld aan de gemeten thermisch-equivalente gelijkspanning.

Het belang van de effectieve waarde
De kennis van de effectieve waarde of de 'thermische inhoud' van een niet zuiver sinusoidale wisselspanning is vaak onontbeerlijk. Als voorbeeld kan de manier aangehaald worden waarop men tegenwoordig de gloeidraadspanning van de beeldbuis in televisietoestellen verzorgt. Vroeger gebruikte men daarvoor een dure 6,3 V gloeistroom-trafo. In moderne toestellen wordt de gloeidraadspanning echter gehaald uit de lijn-trafo. Deze trafo levert een alles behalve zuiver sinusvorming signaal met een frequentie van 15.625 Hz. Alleen door het meten van de effectieve waarde van deze pulsen kan men er zeker van zijn dat het thermisch vermogen dat aan de gloeidraad van de beeldbuis wordt aangeboden overeen komt met de thermische capaciteit van een 6,3 V_{eff} sinusspanning.

Wiskundige benadering
Wiskundig definiëert men de effectieve waarde van een periodieke grootheid als de vierkantswortel uit het gemiddelde van het kwadraat van deze grootheid, gemeten over één periode.
Onder formule-vorm:

$$U_{eff} = \sqrt{\frac{1}{\tau} \int_{o}^{\tau} E^2 (t)\, dt}$$

Voor zuiver sinusoidale spanningen kan men deze formule herleiden tot:

$$U_{eff} = \sqrt{\frac{1}{\tau} \int_{o}^{\tau} U_m^2 \sin^2 \omega t\, dt}$$

of

$$U_{eff} = \sqrt{\frac{1}{\tau} U_m^2 \frac{\tau}{2}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0{,}70711\ U_m$$

Voor zuiver sinusoidale signalen kan men een gewone topgelijk-richter gebruiken en de factor 0,0707 invoegen door het aanpssen van de versterking van de schakeling na de detector. Gewone wisselspanningsvoltmeters zijn dan ook geijkt in de effectieve waarde van sinusoidale spanningen.

Het begrip crest-factor
De verhouding 0,70711 tussen de effectieve waarde van een wisselspanningssignaal en de top-waarde geldt alleen voor sinussen.
De verhouding voor alle signaal vormen wordt gegeven door de crest-factor, die wordt gedefinieerd als:

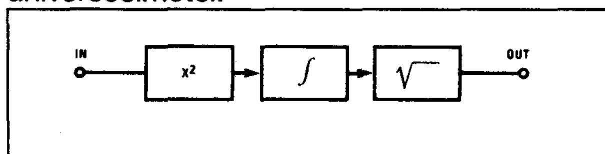
$$C_r = \frac{U_m}{U_{eff}}$$

Uit deze formule volgt dat de crest-factor van een sinus gelijk is aan 1,414.
Voor een zaagtand is de crest-factor gelijk aan 1,732, voor een mooie symmetrische blok 1.

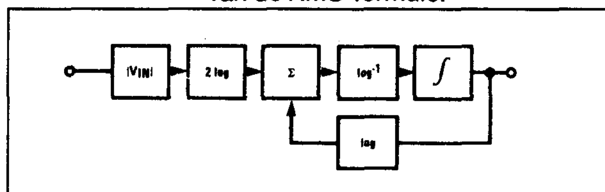
RMS-omzetters
RMS-omzetters zijn geïntegreerde schakelingen die de echte effectieve waarde bereken van periodieke wisselspanningen. In principe zetten deze schakelingen de wiskundige effectieve waarde uitdrukking om in een elektrisch analogon.
In principe zou men het schema van figuur 11/4.1-2 kunnen toepassen, waarbij het signaal eerst wordt gekwadrateerd, het resultaat geïntegreerd en er tot slot de vierkantswortel van wordt berekend. Aan deze methode kleven echter enige praktische bezwaren en vandaar dat alle true-RMS omzetters werken volgens het blokschema van figuur 11/4.1-3. Het kwadrateren en worteltrekken worden met behulp van enige logaritmische netwerken uitgevoerd, die tamelijk eenvoudig zijn te integreren.

4.1 Achtergrond-informatie

Het blokschema kan tot een (vereenvoudigd) schema vertaald worden volgens figuur 11/4.1-4. Het blokje | U_{in} | wordt uitgevoerd met een rond A1 opgebouwde gelijkrichter, A2 vormt de dubbele log-functie en A3 en A4 de geïnverteerde log-functie en de terugkoppeling. Bij sommige typen is een extra operationele versterker ingebouwd, die kan worden gebruikt voor het samenstellen van een afvlakfilter of als buffer aan de ingang. Uit de structuur van het IC volgt immers zeer duidelijk dat de ingangsweerstand vrij laag is hetgeen tot problemen kan leiden als met de omzetter gebruikt als RMS-gelijkrichter in een digitale universeelmeter.



Figuur 11/4.1-2: Principiële elektronische vertaling van de RMS-formule.



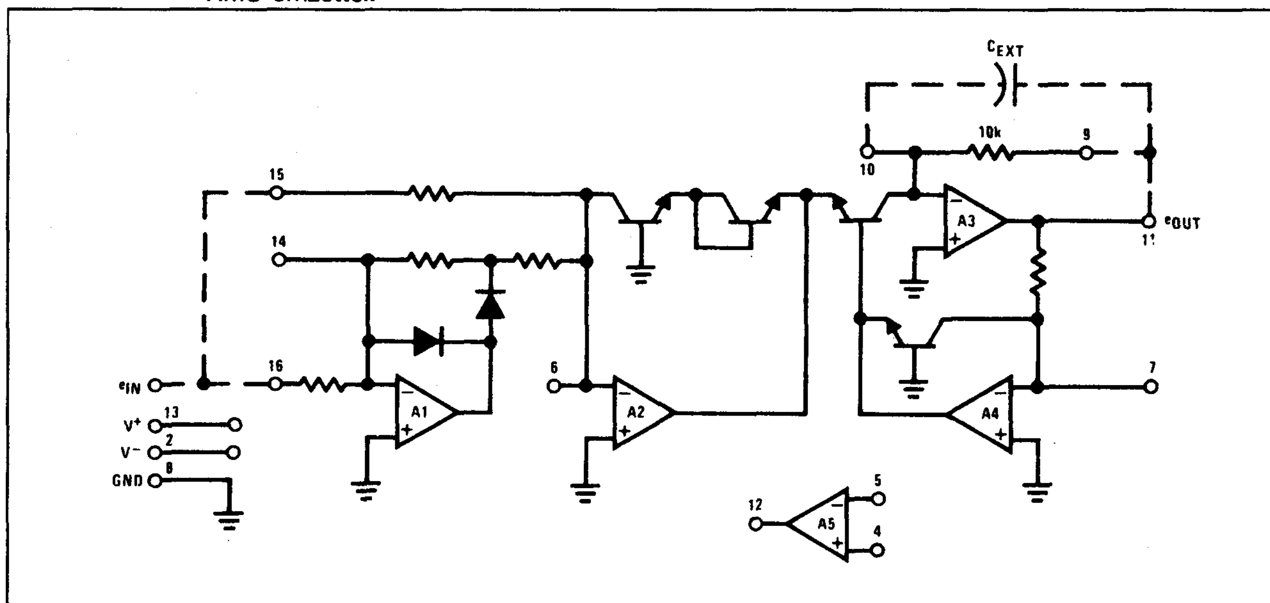
Figuur 11/4.1-3: Praktisch blokschema van een RMS-omzetter.

Uit het blokschema kan men afleiden dat ergens in de schakeling een spanning ontstaat, die zich logaritmisch verhoudt tot de ingangsspanning. Van dit gegeven wordt door enige fabrikanten dankbaar gebruik gemaakt om het IC te voorzien van een zogenoemde dB-uitgang. Op deze uitgang ontstaat een gelijkspanning waarvan de waarde verdubbelt voor iedere decadische stijging van de ingangsspanning. Men kan deze uitgang aansluiten op enige extra onderdelen en de RMS-omzetter gebruiken als echte decibel-meter.

Eigenschappen van RMS-omzetters

De ideale RMS-omzetter heeft een oneindig grote bandbreedte, geen lineariteits-fouten en een nauwkeurigheid die onafhankelijk is van de crest-factor van het ingangssignaal.
Praktische schakelingen voldoen uiteraard niet aan dit ideaal. De meest belangrijke eigenschappen die iets zeggen over de kwaliteit van de schakeling zijn:

– de nauwkeurigheid en lineariteit:
Ook omzettings-fout genoemd, geeft aan hoe de reële uitgangsspanning zich verhoudt tot de theoretisch berekende. De meeste IC's worden tijdens de fabrikage door laser-trim-

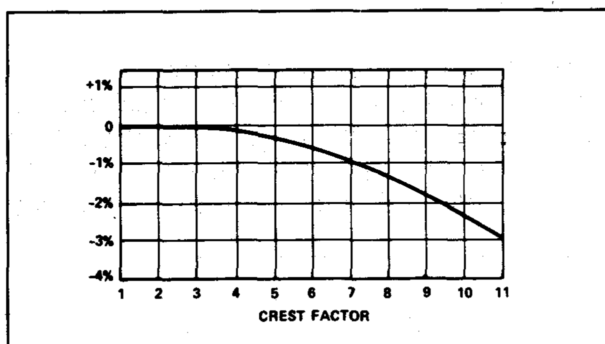


Figuur 11/4.1-4: Basis-schema van een RMS-omzetter.

4.1 Achtergrond-informatie

ming afgeregeld op een gespecificeerde nauwkeurigheid. De nauwkeurigheid wordt meestal opgegeven door de combinatie van een vast aantal mV's offset en een procentuele fout op de omzetting: bijvoorbeeld 20 mV ± 0,5%. Zowel de offset als de omzettingsfout kunnen door externe compensatie- en afregel-schakelingen verkleind worden.

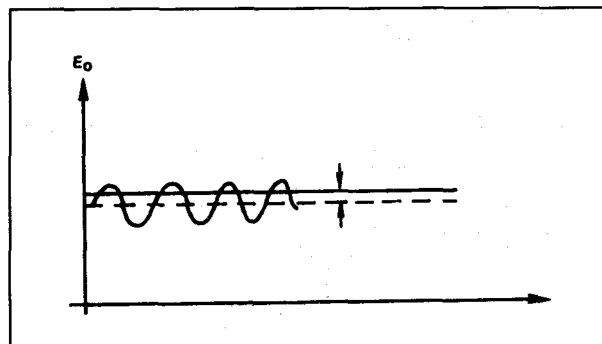
– de invloed van de crest-factor:
De meeste periodieke signalen hebben een crest-factor tussen de 1 en 2. Deze veroorzaken geen extra fouten. Hoe groter de crest-factor echter wordt, hoe groter de onnauwkeurigheid van de omzetting. Signalen met crest-factoren tot 10 komen bijvoorbeeld voor in geschakelde voedingen en triac-gestuurde wisselspanningsbelastingen. Figuur 11/4.1-5 geeft het verband tussen de crest-factor van het ingangssignaal en de stijging van de onnauwkeurigheid bij een typische RMS-omzetter.



Figuur 11/4.1-5: Invloed van de crest-factor op de nauwkeurigheid.

– bandbreedte:
De bandbreedte van de schakeling wordt aan de lage kant begensd door de waarde van de afvlak-condensator die men over de uitgang moet schakelen (C_{ext} in figuur 11/4.1-4) en aan de hoge kant door de interne schakelingen van het IC.
De tijdconstante van het RC-filter moet minstens 10 keer groter zijn dan de periode van het signaal met de laagste frequentie die men wil meten.
Aan de hoge kant wordt de grens-frequentie op verschillende manieren gedefinieerd. Soms neemt men namelijk het –3 dB punt als grens, soms de frequentie waarbij de fout op de uitgang tot 1% is gestegen. Beide gegevens zijn bovendien nog afhankelijk van de grootte van het ingangssignaal.

Uitgangsfiltering
Een RMS-omzetter berekent de effectieve waarde van de ingangswisselspanning. Op de uitgang zal men echter een rimpel aantreffen met de dubbele signaal-frequentie en een kleine DC-afwijking. In figuur 11/4.1-6 is de ideale effectieve waarde voorgesteld door de volle lijn, de DC-afwijking door het verschil tussen de volle lijn en de gestippelde en de rimpel door de sinus-kurve.



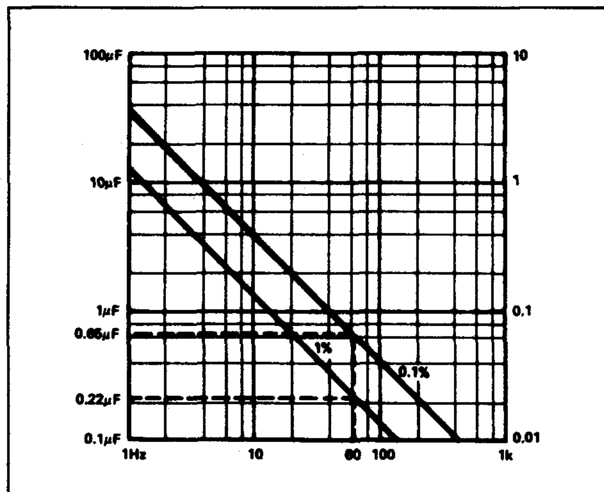
Figuur 11/4.1-6: Gelijkspanningsdrift en wisselspanningsrimpel op de uitgang.

De DC-fout is afhankelijk van de signaal-frequentie en van de waarde van de afvlak-condensator C_{ext}. Uit figuur 11/4.1-7 kan men de minimale waarde voor C_{ext} afleiden in functie van de frequentie en voor fouten van 0,1 en 1%.
Uit deze grafiek volgt voor 60 HZ een waarde van 0,66 μF voor een fout van 0,1% en een minimale waarde van 0,22 μF als een DC-fout van 1% toelaatbaar is.

De rimpel kan worden gereduceerd door het vergroten van de waarde van C_{ext}. Een tienvoudige vergroting van deze condensator heeft een tien keer kleinere rimpel tot gevolg. Hoe groter deze condensator, hoe trager de schakeling zal reageren op plotse spanningssprongen aan de ingang. De rechter as van de

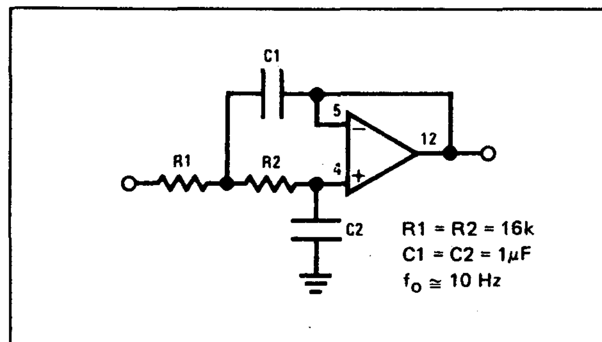
4.1 Achtergrond-informatie

grafiek in figuur 11/4.1-7 geeft de reactie-tijd in seconde tot 99% van de eindwaarde.



Figuur 11/4.1-7: Invloed van de waarde van C_{ext} op de DC-drift.

Een veel beter systeem is de omzetter af te sluiten met een actief laagdoorlaat-filter. Dit filter kan volgens het schema van figuur 11/4.1-8 samengesteld worden rond de extra operationele versterker in het IC.



Figuur 11/4.1-8: Tweede orde laagdoorlaatfilter.

11/4.2

Type-beschrijving

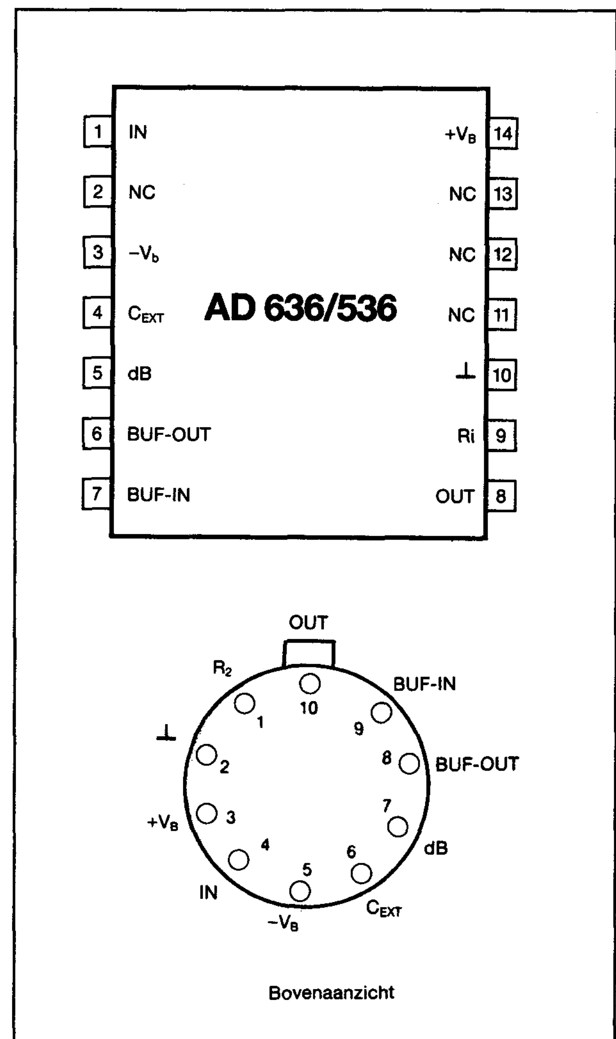
AD 636 J

1,0% – 1 MHz

Low cost RMS-omzetter voor ingangsspanningen tot 200 mV, intern laser-getrimd tot op een nauwkeurigheid van 1,0%, met een –3 dB bandbreedte van 1 MHz en een dB-uitgang over vijf decaden.

Technische gegevens

- fabrikant: Analog Devices
- behuizing: DIL-14, TO-100
- aansluitgegevens: figuur 11/4.2-1
- voedingsspanningen: ± 2,5 tot ± 12 V
- eigen nauwkeurigheid: ± 0,5 mV ± 1,0%
- externe ijking tot: ± 0,3 mV ± 0,3%
- bandbreedte:
  - 10 mV in, 1% fout: 12 kHz
  - 100 mV in, 1% fout: 80 kHz
  - 200 mV in, 1% fout: 130 kHz
  - 10 mV in, –3 dB fout: 80 kHz
  - 100 mV in, –3 dB fout: 800 kHz
  - 200 mV in, –3 dB fout: 1,3 MHz
- invloed crest-factor op nauwkeurigheid:
  - $C_r = 3 \rightarrow -0{,}2\%$
  - $C_r = 6 \rightarrow -0{,}5\%$
- ingangs-weerstand: 6,7 kΩ
- max. ingangsspanning: ±5 V
- dB-uitgang: -3 mV/dB
- dB-fout: ± 0,5 dB (7 mV $< U_{in} <$ 300 mV)
- dB temp-coëf: +0,3%/°C
- intern blokschema: figuur 11/4.2-2



Figuur 11/4.2-1: AD 636 J/K.

Voorbeeld-schakelingen

- figuur 11/4.2-3:

Standaard-schakeling voor het berekenen van de effectieve waarde van AC + DC signalen waarbij genoegen wordt genomen met de interne nauwkeurigheid en offset-compensatie. Wil men alleen wisselspanningssignalen toelaten, dan moet tussen de ingang en pen 1 een niet-gepoolde condensa-

4.2 Type-beschrijving

tor van minimaal 3,3 μF worden opgenomen. De condensator C_F kan worden toegevoegd als extra rimpel-onderdrukker.

Figuur 11/4.2-2: Intern blokschema AD 636 J/K.

Figuur 11/4.2-3: Basis-schakeling.

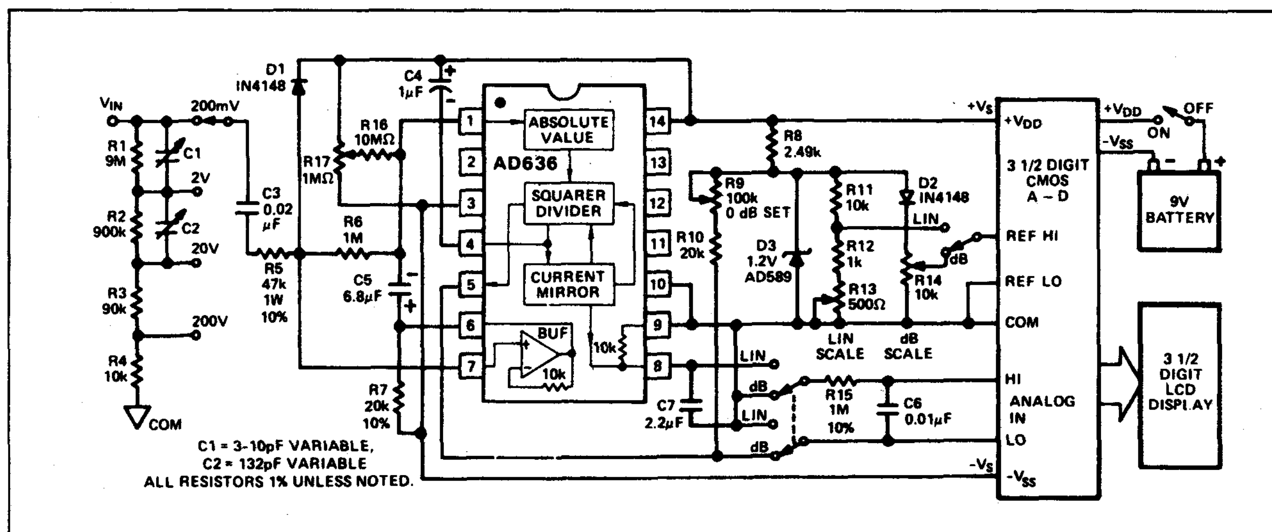
Figuur 11/4.2-4: Externe ijking en compensatie.

– figuur 11/4.2-4:
Schakeling voor maximale nauwkeurigheid met extra extern aangebrachte instelpotentiometers voor het compenseren van de offset en de omzettings-fout. Afregel-procédure: verbindt de ingang met de massa en verdraai R4 tot 0 V op de uitgang. Zet op de ingang een sinusvormige wisselspanning van precies 200 mV effectief en 1 kHz en regel R2 af op 200 mV gelijkspanning op de uitgang.

Figuur 11/4.2-5: Extern tweede orde filter.

– figuur 11/4.2-5:
Reductie van de rimpel met behoud van snelle respons door het opbouwen van een tweede-orde laagdoorlaatfilter rond de buffer-op-amp.
– figuur 11/4.2-6:
Volledig schema van een dB/RMS digitale universeelmeter met ingangsimpedantie van 10 MΩ en meetbereiken van 200 mV, 2 V, 20 V en 200 V effectief en 50 dB logaritmisch.
De ingang is capacitief gekoppeld met de buffer-op-amp van de AD 636, zodat de lage ingangsweerstand van de RMS-omzetter de hoogimpedante ingangsdeler niet kan belasten. Een 1,2 V spanningsreferentie wordt gebruikt voor het generen van een stabiele 100 mV referentie voor de 3½ decade ADC in de lineaire mode. In de log-mode wordt een siliciumdiode 1 N 4148 in serie opgenomen als temperatuurs-compensatie van de dB-uitgang. De meter wordt afgeregeld door eerst

4.2 Type-beschrijving



Figuur 11/4.2-6: RMS/dB digitale meter.

de offset weg te regelen met R17 (uitlezing 0000) en nadien R13 voor volle schaal met 200 mV_{eff} op de ingang. Met R9 kan men het gewenste 0 dB referentie-punt instellen, met R14 de omzettingsfactor afregelen op 10 mV/dB.

AD 636 K

0,5% - 1 MHz

Vergelijkbaar met AD 636 J, echter intern afgeregeld op een maximale fout van 0,5%.

Technische gegevens

Zie AD 636 J behalve:
- eigen nauwkeurigheid: ±0,2 mV ±0,5%
- externe ijking tot: ±0,1 mV ±0,2%
- dB-fout: ±0,2 dB (7 mV<U_{in}<300 mV)

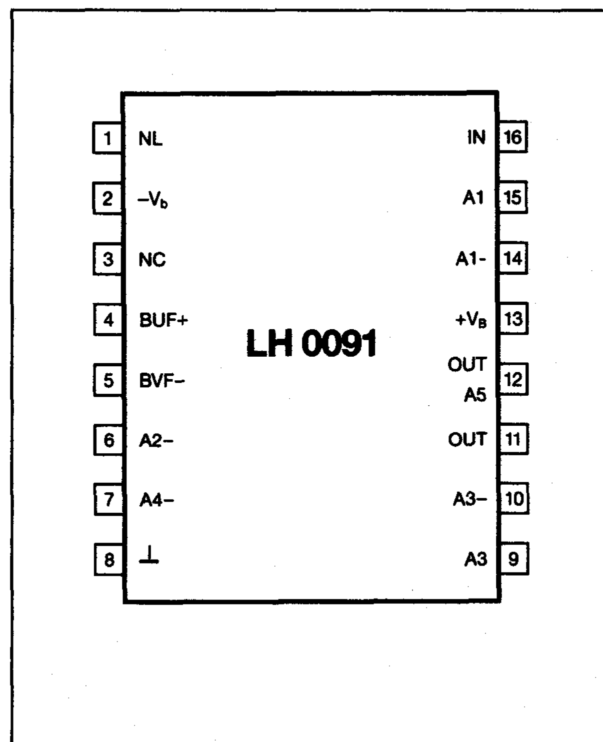
LH 0091

0,5% - 800 kHz

Intern afgeregeld op 0,5% voor ingangsspanningen tot 11 V top-tot-top en –3 dB bandbreedte van 800 kHz.

Technische gegevens

- fabrikant: National Semiconductor
- behuizing: DIL-16
- aansluitgegevens: figuur 11/4.2-7
- voedingsspanningen: ±5 tot ±22 V
- eigen nauwkeurigheid: ±20 mV ±0,5%
- externe ijking tot: ±0,5 mV ±0,05%

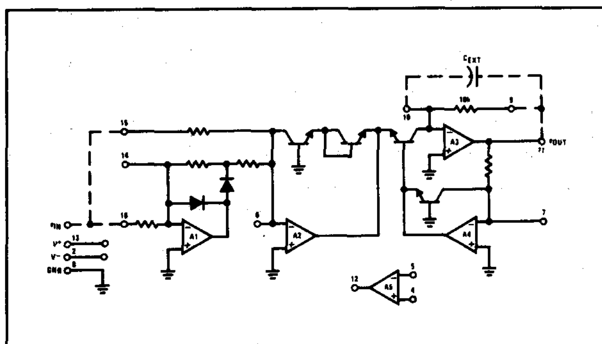


Figuur 11/4.2-7: LH 0091

- bandbreedte:
  - 100 mV in, 1% fout: 50 kHz
  - 700 mV in, 1% fout: 75 kHz
  - 7 V in, 1% fout: 200 kHz
  - 100 mV in, –3 dB fout: 800 kHz
  - 700 mV in, –3 dB fout: 1,5 MHz

4.2 Type-beschrijving

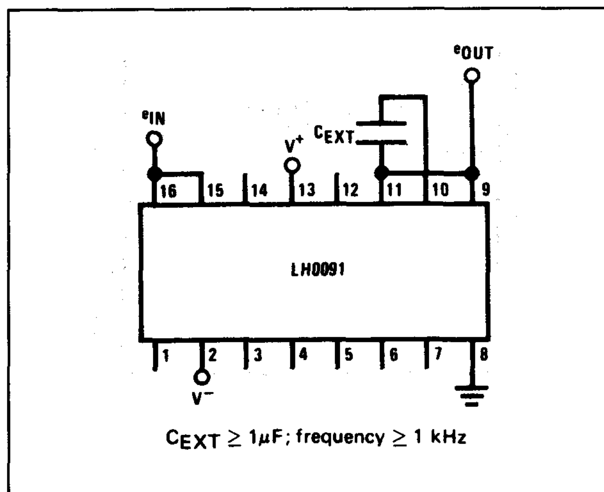
- 7 V in, 1% fout: 200 kHz
- invloed crest-factor:
  met speciale externe schakeling geen invloed tot $C_r = 10$
- ingangs-weerstand: 5 kΩ
- max. ingangsspanning: ±11 V top-tot-top
- intern blokschema: figuur 11/4.2-8.



Figuur 11/4.2-8: Intern blokschema.

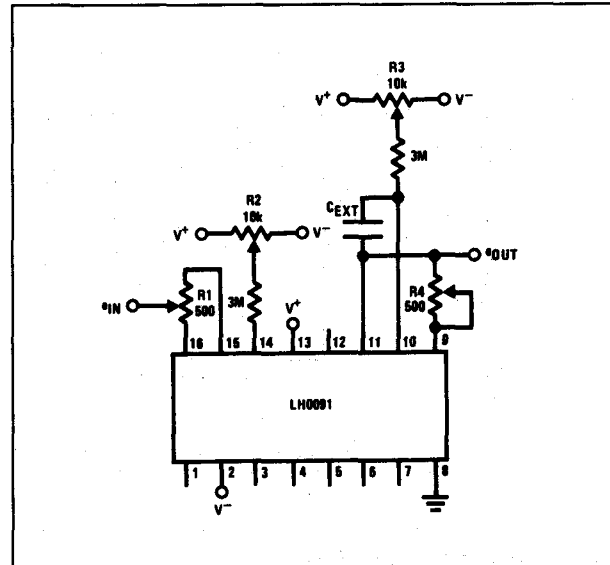
Voorbeeld-schakelingen

- figuur 11/4.2-9:



Figuur 11/4.2-9: Basis-schakeling.

Basis-schema zonder externe offset-compensatie en ijking
- figuur 11/4.2-10:
Externe trimmers voor nauwkeurigheid van ±0,5 mV ±0,05% voor ingangsspanningen tussen 50 mV en 10 V top-tot-top.



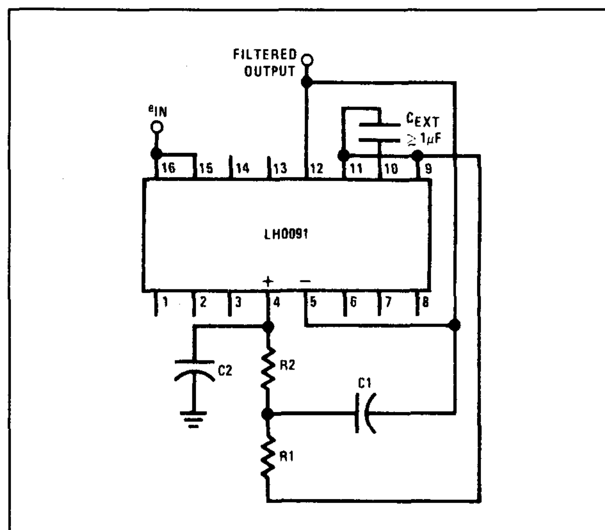
Figuur 11/4.2-10: Externe ijking en compensatie.

Afregel-procédure:
- 50 mV DC op de ingang, noteer uitgangsspanning;
- −50 mV DC op de ingang, regel R2 af op identieke uitgang;
- 50 mV DC op ingang, regel R3 af op 50 mV uitgang;
- −50 mV DC op ingang, regel R2 af op 50 mV uitgang;
- afwisselend + en − 10 V DC op de ingang, regel R1 af op identieke uitgangsspanningen (niet per definitie 10 V!);
- 10 V DC op de ingang, regel R4 af op 10 V op uitgang;
- herhaal de beschreven procédure enige malen.

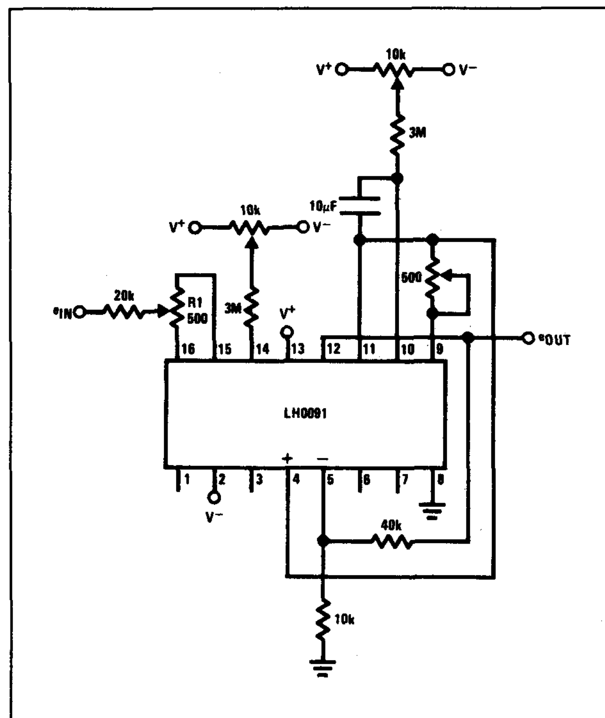
- figuur 11/4.2-11:
Toepassing van de ingebouwde operationele versterker als tweede orde laagdoorlaatfilter voor het reduceren van de rimpel met behoud van snelle reactie-tijd.
- figuur 11/4.2-12:
Speciale schakeling voor het verwerken van signalen met een crest-factor van meer dan 2. De ingangsstroom wordt door het toevoegen van de ingangsweerstand van 20 kΩ met een factor 5 gereduceerd, de uitgangs op-amp kan als x5 versterker worden geschakeld voor

4.2 Type-beschrijving

het compenseren van deze verzwakking.



Figuur 11/4.2-11: Uitgang met tweede orde filter.



Figuur 11/4.2-12: Schakeling voor signalen met grote crest-factor.

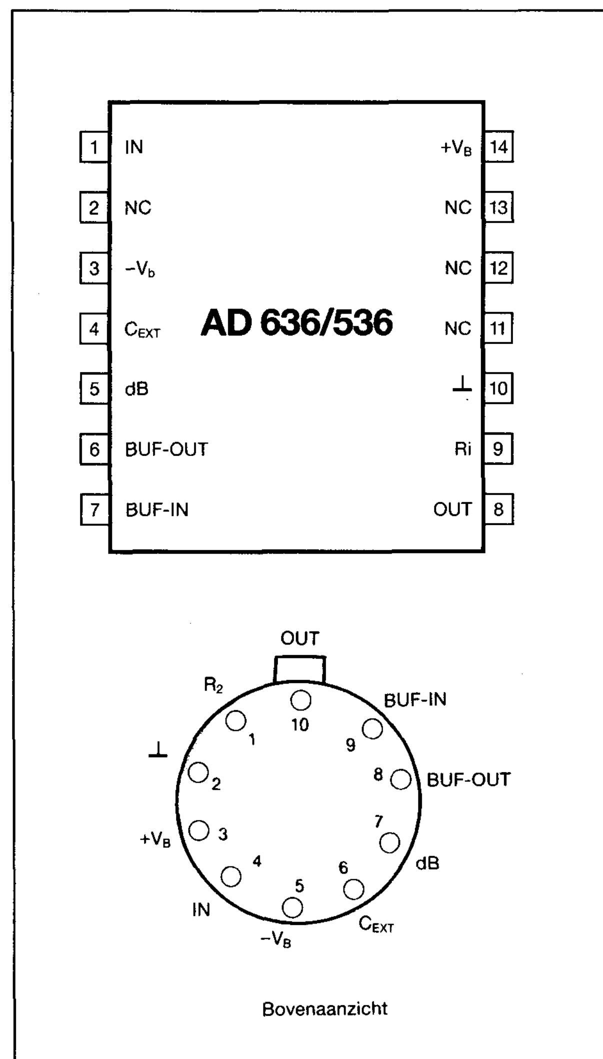
AD 536 AJ

0,5% - 300 kHz

RMS-omzetter tot ingangsspanningen van $7V_{eff}$ met een dB-uitgang over zes decaden.

Technische gegevens

- fabrikant: Analog Devices
- behuizing: DIL-14, TO-100
- aansluitgegevens: figuur 11/4.2-13
- voedingsspanningen: ±3 tot ±18 V
- eigen nauwkeurigheid: ±5 mV ±0,5%
- externe ijking tot: ±3 mV ±0,3%

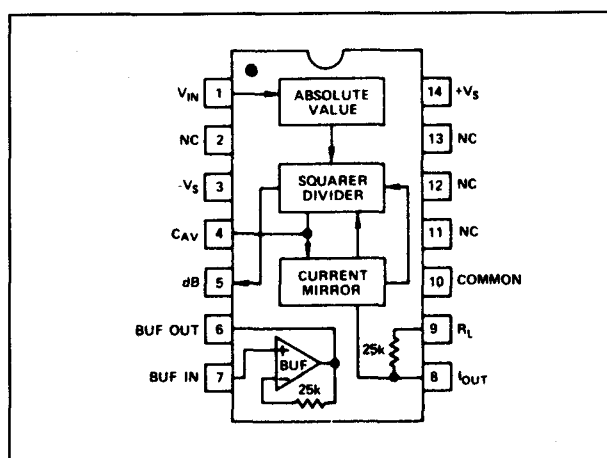


Figuur 11/4.2-13: AD 536 AJ/AK.

- bandbreedte:
  - 100 mV in, 1% fout: 6 kHz
  - 1 V in, 1% fout: 40 kHz
  - 7 V in, 1% fout: 100 kHz
  - 100 mV in, −3 dB fout: 50 kHz
  - 1 V in, −3 dB fout: 300 kHz
  - 7 V in, −3 dB fout: 2 MHz

4.2 Type-beschrijving

- invloed crest-factor op nauwkeurigheid:
  - $C_r = 3 \rightarrow -0{,}1\%$
  - $C_r = 7 \rightarrow -1\%$
- ingangs-weerstand: 16,7 kΩ
- max. ingangsspanning: ±20 V
- dB-uitgang: −3 mV/dB
- dB-fout: ±0,5 dB (7 mV<U_{in}<7 V)
- dB temp-coëf: −0,3%/°C
- intern blokschema: figuur 11/4.2-14

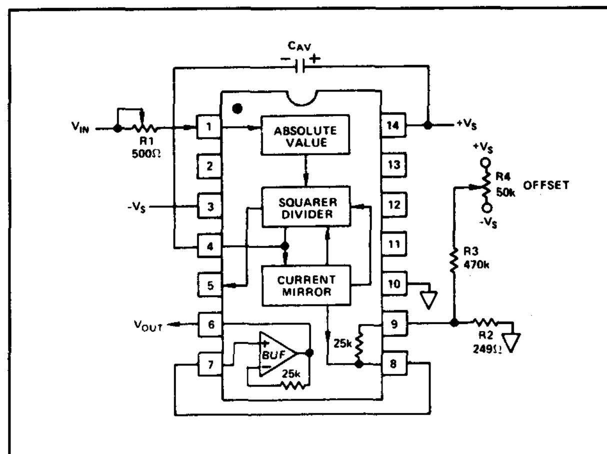


Figuur 11/4.2-14: Intern blokschema.

Voorbeeld-schakelingen

- figuur 11/4.2-15:

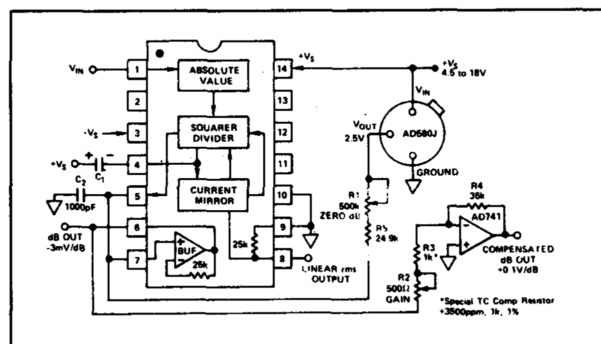
Externe trimmers voor het ijken van de omzetter tot op ±0,3%.
Afregel-procédure: Ingang aan massa, regel R4 af tot 0 V op de uitgang. Zet 1,000 V DC op de ingang, regel R1 af tot 1,000 V op de uitgang.



Figuur 11/4.2-15: Externe ijking en compensatie.

- figuur 11/4.2-16:

Schakeling uitgebreid met dB-uitgang. Met R1 kan men het referentie nulpunt van de dB-schaal instellen, de externe operationele versterker verhoogt de omzettings-factor tot 0,1 V/dB.
Afregel-procédure:
Zet 1,00 V DC op de ingang, regel R1 af op 0 V op de dB-uitgang. Zet 100 mV DC op de ingang, regel R2 tot −2,00 V op de uitgang. De temperatuurs-drift van de omzetter wordt gecompenseerd door een weerstand R3 met gedefinieerde temperatuurs-coëfficiënt.



Figuur 11/4.2-16: dB-uitgangsschakeling.

AD 536 AK

0,2% - 300 kHz

Geselecteerde versie van de AD 536 AJ.

Technische gegevens

Zie AD 536 AJ behalve:
- eigen nauwkeurigheid: ±2 mV ±0,2%
- externe ijking tot: ±2 mV ±0,1%
- −dB-fout: ±0,2 dB (7 mV<U_{in}<7 V)

442

0,15% - 8 MHz

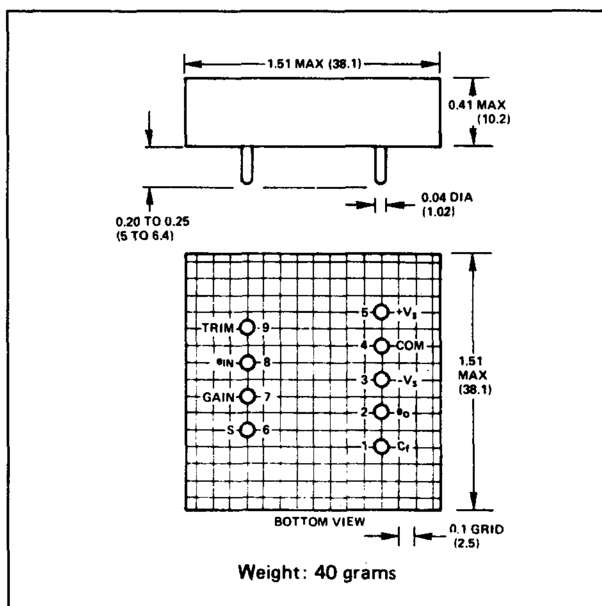
Professionele RMS-converter met gegarandeerde fout van minder dan ±1% tot 800 kHz en extreem lage drift van ±35 μV ±0,01%.
Af te regelen tot ±1 mV ±0,05%.

Technische gegevens

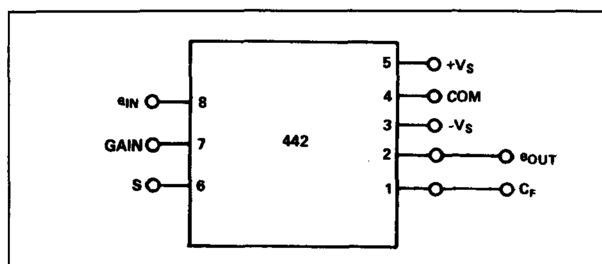
- fabrikant: Analog Devices
- behuizing: module, zie figuur 11/4.2-17
- aansluitgegevens: figuur 11/4.2-18
- voedingsspanningen: ±6 tot ±18 V
- eigen nauwkeurigheid: ±2 mV ±0,15%

4.2 Type-beschrijving

- externe ijking tot: ±11 ,V ±0,05%
- bandbreedte:
  - 100 mV in, 1% fout: 80 kHz
  - 1 V in, 1% fout: 800 kHz
  - 7 V in, 1% fout: 500 kHz
  - 100 mV in, –3 dB fout: 2 MHz
  - 1 V in, –3 dB fout: 7 MHz
  - 2 V in, –3 dB fout: 8 MHz
- invloed crest-factor op nauwkeurigheid:
  - $C_r = 7 < \pm 0{,}2\%$
  - $C_r = 10 < \pm 0{,}5\%$
- ingangsweerstand: 2,5 kΩ
- max. ingangsspanning: ±10 V
- uitgangsweerstand: 0,1 Ω



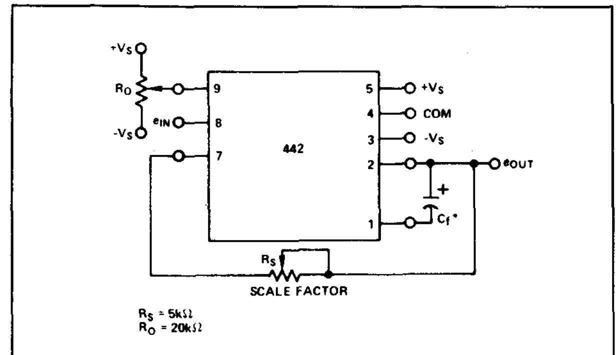
Figuur 11/4.2-17: 442-behuizing.



Figuur 11/4.2-18: Aansluitgegevens 442.

Voorbeeldschakeling

Figuur 11/4.2-19 geeft het basis-schema met externe ijking en offset-compensatie.



Figuur 11/4.2-19: Basis-schema met externe ijking en compensatie.

AD 637 AJ

0,5% - 8 MHz

Kwaliteits RMS-omzetter met zeer grote bandbreedte en dB-uitgang.
Dit IC heeft een chip-select input, waarmee men de chip kan uitschakelen ($Z_O = \infty$, ruststroom ongeveer 350 μA) en de mogelijkheid wordt geboden diverse identieke schakelingen parallel te schakelen.
De schakeling heeft een extra zogenaamde 'denominator'-ingang, die de werking van de omzetter beïnvloedt volgens de wet:

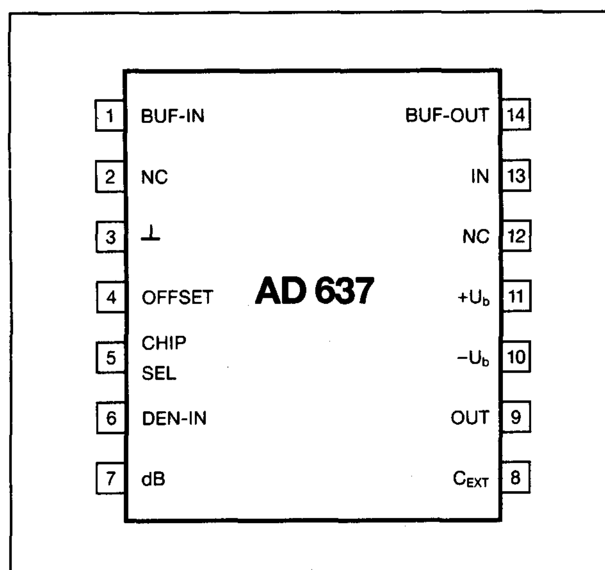
$$U_{uit} = \frac{V_{in}^2}{V_{DEN}}$$

Technische gegevens

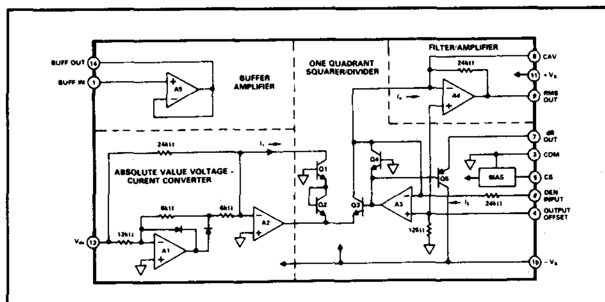
- fabrikant: Analog Devices
- behuizing: DIL-14
- aansluitgegevens: figuur 11/4.2-20
- voedingsspanningen: ±3 tot ±18 V
- eigen nauwkeurigheid: ±1 mV ±0,5%
- externe ijking tot: ±0,5 mV ±0,1%
- bandbreedte:
  - 20 mV in, 1% fout: 11 kHz
  - 200 mV in, 1% fout: 66 kHz
  - 2 V in, 1% fout: 97 kHz
  - 20 mV in, –3 dB fout: 150 kHz
  - 200 mV in, –3 dB fout: 1 MHz
  - 2 V in, –3 dB fout: 8 MHz
- invloed crest-factor op nauwkeurigheid:
  - $C_r = 3 \rightarrow \pm 0{,}1\%$
  - $C_r = 10 \rightarrow \pm 1{,}0\%$
- ingangs-weerstand: 8 kΩ
- max. ingangsspanning: ±15 V

4.2 Type-beschrijving

- uitgangs-impendantie: 0,5Ω'H', 100 kΩ'L'
- dB-uitgang: –3 mV/dB
- dB-fout: ±1 dB (7 mV<U_{in}<7 V)
- DEN-ingangsspanning: 0 tot 2 V
- DEN-ingangsweerstand: 25 kΩ
- chip-select: ON → open
  OFF → <0,2 V
- intern blokschema: figuur 11/4.2-21



Figuur 11/4.2-20: AD 637 AJ/AK.



Figuur 11/4.2-21: Intern blokschema.

Voorbeeld-schakelingen

- figuur 11/4.2-22:

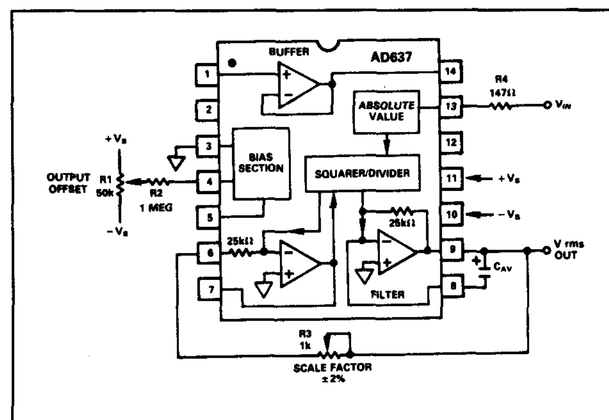
Externe afregeling en offset-compensatie. Regel R1 af op 0 V op uitgang met 0 V aan ingang, zet 1,000 V DC op ingang en regel R3 af op 1,000 V op uitgang.

- figuur 11/4.2-23:

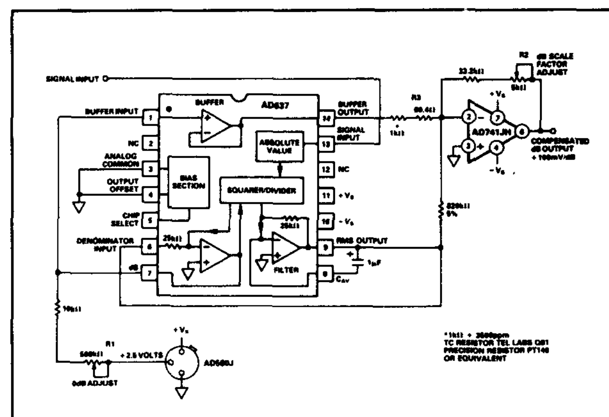
Externe schakeling voor dB-uitgang. Met R1 stelt men het gewenste 0 dB referentie-punt in, de op-amp voert de omzettingsfactor op tot +100 mV/dB.

Afregel-procédure:

Zet 1,000 V DC op ingang en regel R1 af op 0 V op de uitgang. Zet 100 mV DC op ingang en regel R2 af op 2,00 V op uitgang.



Figuur 11/4.2-22: Externe ijking en compensatie.



Figuur 11/4.2-23: dB-uitgangsschakeling.

- figuur 11/4.2-24:

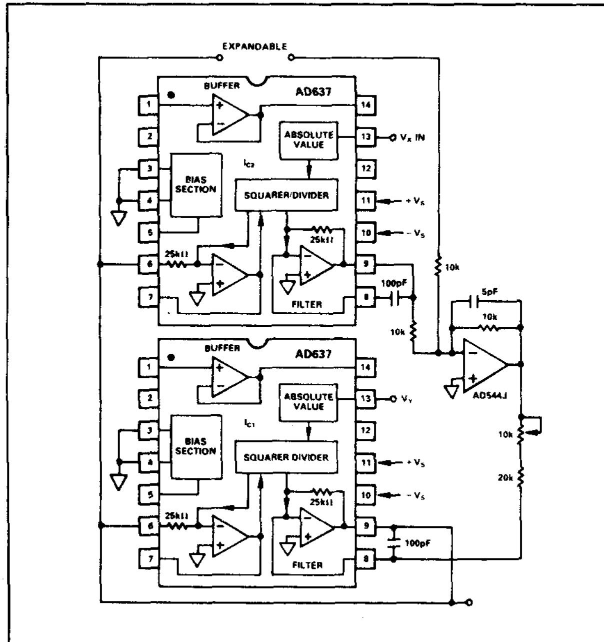
Vector-rekenen met diverse parallel geschakelde AD 637's.

De uitgangsspanning wordt gegeven door:

$$U_{uit} = \sqrt{U_x^2 + U_y^2}$$

De schakeling kan worden uitgebreid door meerdere IC's parallel te schakelen met ieder een weerstand van 10 kΩ naar het sommeerpunt van de op-amp.

4.2 Type-beschrijving



Figuur 11/4.2-24: Vector-schakeling.

AD 637 AK

0,2–% - 8 MHz

Geselecteerde versie van de AD 637 AJ.

Technische gegevens

Zie AD 637 AJ behalve:

- eigen nauwkeurigheid: ±0,5 mV ±0,2%
- externe ijking tot: ±0,25 mV ±0,05%

4.2 Type-beschrijving

4.2 Type-beschrijving

LT 1088

2 %, 100 MHz

De LT1088 is een brede band effectieve waarde meter, die werkt volgens het principe dat in hoofdstuk 11/4.1, figuur 11/4.1-1, werd verklaard. De te meten ingangsspanning wordt naar een verwarmingselementje gestuurd. Met behulp van externe schakelingen wordt deze warmte weer omgezet in een gelijkspanning, waarvan de waarde binnen tamelijk nauwkeurige grenzen gelijk is aan de effectieve waarde van de ingangsspanning. Het verwarmingselement staat in innig thermisch contact met een Si-diode. Dit onderdeel kan gebruikt worden voor het meten van de temperatuur van het element. Hiervoor is een tweede volledig identiek systeem aangebracht, dat opgenomen kan worden in de terugkoppeling van een regelsysteem. Dit principe laat veel nauwkeuriger en breedbandiger metingen toe dan de meestal gebruikte wiskundige methode, waarbij met logaritmische versterkers wordt gewerkt. Met deze techniek kan men signalen verwerken met crest-factor verhoudingen tussen 1 en 50 en met een dynamisch bereik aan de ingang van 1 op 20.
De schakeling heeft twee ingangsimpedanties van 50 Ω en 250 Ω, zodat men diverse HF-signaalbronnen zonder impedantieomvormers rechtstreeks aan het IC kan aansluiten.
De LT1088 werd speciaal ontwikkeld voor onderstaande toepassingen:

- breedbandige meting van de effectieve waarden van wisselspanningen:
- regelsystemen en terugkoppelingen in HF-schakelingen;
- automatische versterkingsregelingen in HF-versterkers;
- bewakingsschakelingen in faseaansnijbesturingen die met thyristoren werken.

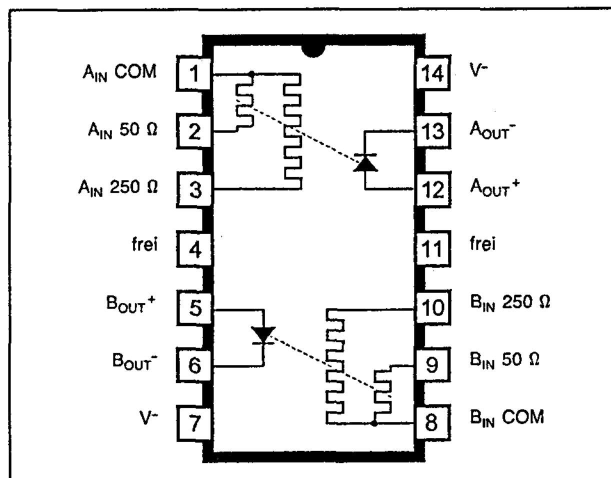
Technische gegevens

- fabrikant: Linear Technology
- behuizing: DIL-14
- aansluitgegevens: figuur 11/4.2-25
- intern blokschema: figuur 11/4.2-25
- bandbreedte:
  - 50 Ω ingang: figuur 11/4.2-26
  - 250 Ω ingang: figuur 11/4.2-27
- nauwkeurigheid:
  1 % tot 50 MHz
  2 % tot 100 MHz
  zie ook figuur 11/4.2-28
- ingangsspanning:
  35 $V_{top\text{-}tot\text{-}top}$ max.
- diodesperspanning:
  3,5 V
- diodestroom:
  15 mA max.
- doorslagspanning tussen beide systemen:
  100 V
- eigenschappen verwarmingselementen:
  - verloop 50 Ω element: figuur 11/4.2-29
  - verloop 250 Ω element:
    figuur 11/4.2-30
  - tempco 50 Ω element:
    2000 ppm/°C typisch
  - tempco 250 Ω element:
    2000 ppm/°C typisch
  - gelijkloop tussen de 50 Ω elementen:
    500 ppm max.
  - gelijkloop tussen de 250 Ω elementen:
    500 ppm max.
  - onderlinge afwijkingen weerstandswaarden:
    50 Ω elementen: 10 % max.
    250 Ω elementen: 10 % max.
  - maximale spanningen over elementen:
    40 V

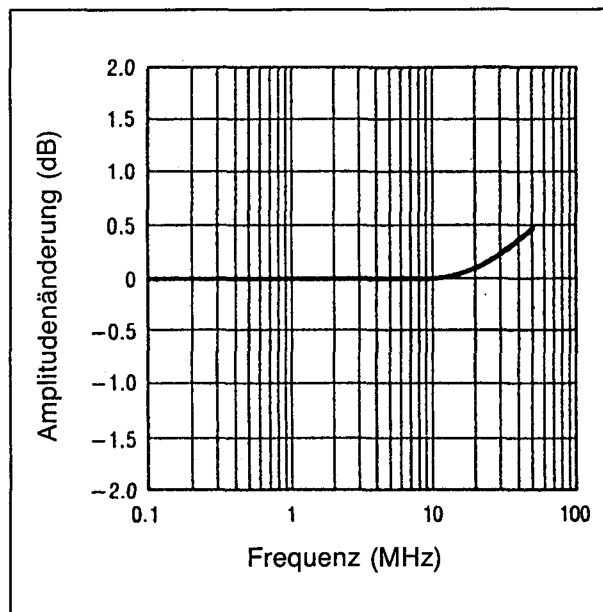
Applicatie-informatie

Aan de A_{IN} en B_{IN} pennen worden ofwel de te meten ingangsspanning, ofwel de teruggekoppelde gelijkspanning gelegd. De schakeling is volledig symmetrisch, het maakt dus niets uit welk element gebruikt wordt voor de ingangsspanning en welk voor de teruggekoppelde gelijkspanning.
De maximale spanningen over de elementen mag niet groter zijn dan 40 V. De A_{IN} COM en B_{IN} COM ingangen worden met de massa verbonden.

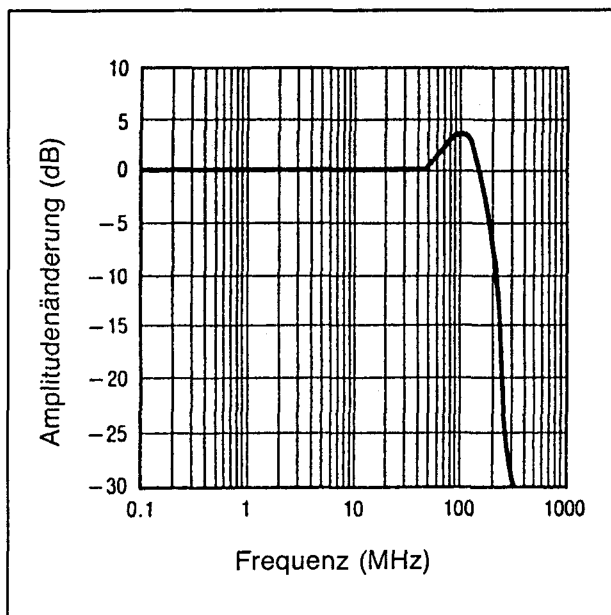
4.2 Type-beschrijving



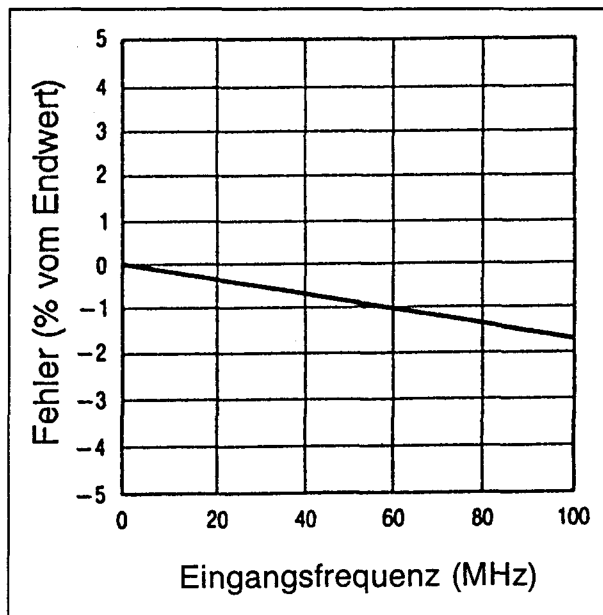
Figuur 11/4.2-25: Aansluitgegevens en intern blokschema van de LT1088.



Figuur 11/4.2-27: Bandbreedte van het 250 Ω element.

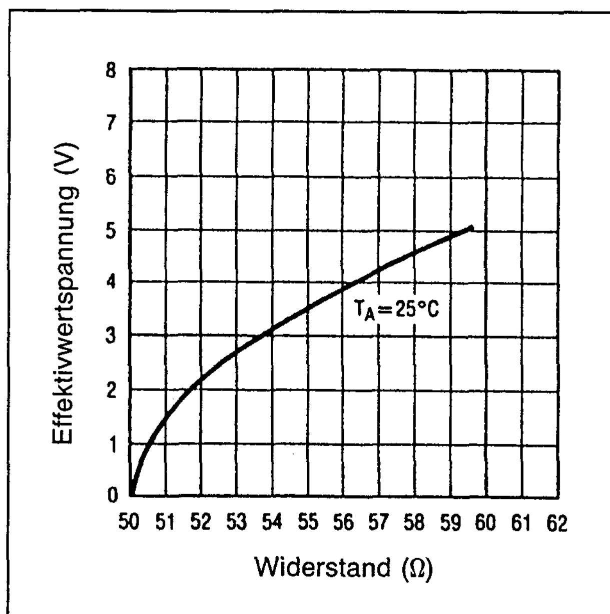


Figuur 11/4.2-26: Bandbreedte van het 50 Ω element.

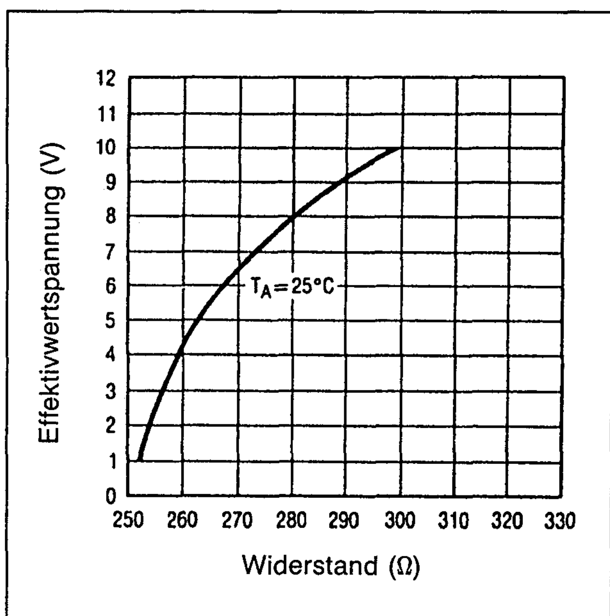


Figuur 11/4.2-28: Nauwkeurigheid van de omzetting in functie van de frequentie (50 Ω ingang).

4.2 Type-beschrijving

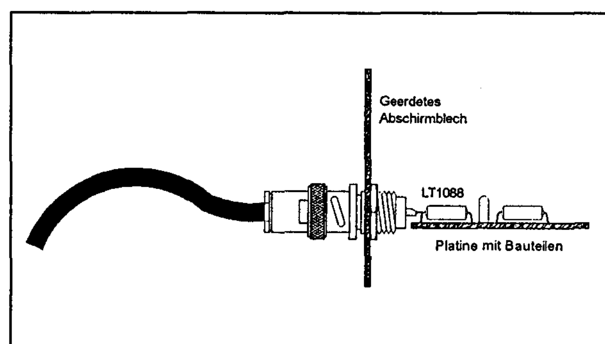


Figuur 11/4.2-29: Verloop van de 50 Ω weerstand in functie van de ingangsspanning.



Figuur 11/4.2-30: Weerstandsverloop van het 250 Ω element in functie van de ingangsspanning.

De twee sensordioden worden gevoed met een stroom van (aanbevolen waarde) 5 mA. Ook deze aansluitingen moeten op een spanning van maximaal 40 V worden ingesteld. Alle pennen van de schakeling zijn via paracitaire dioden met de V⁻-aansluiting verbonden. Het zal duidelijk zijn dat deze dioden in sper ingesteld moeten blijven, waaruit volgt dat de V⁻-pen op de laagste spanning van het gehele systeem moet staan.
Bij ingangssignalen met frequentie van meer dan 100 MHz moet men de grootst mogelijke zorg besteden aan de lay-out van de print en de manier waarop het ingangssignaal wordt aangeboden. In figuur 11/4.2-31 is een voorbeeld gegeven van de door de fabrikant aanbevolen opstelling. Lange toevoerleidingen veroorzaken paracitaire oscillaties en het wordt aanbevolen de LT1088 zo dicht mogelijk bij de ingangsconnector op te stellen. De massa van het verwarmingselement moet rechtstreeks met de centrale massa van de opstelling verbonden worden.



Figuur 11/4.2-31: Aanbevolen lay-out bij ingangssignalen met frequenties van meer dan 100 MHz.

Thermische karakteristieken

Het zal duidelijk zijn dat de LT1088 extreem gevoelig is voor externe temperatuursinvloeden. Hoe kleiner de te meten ingangsspanning, hoe meer dit aspect gaat spelen. Het IC moet ondergebracht worden in een omgeving, die volledig in thermisch evenwicht is en die vrij is van luchtstromen. Dit aspect is vooral belangrijk bij apparatuur die via een interne ventilator gekoeld wordt. Alle onder-

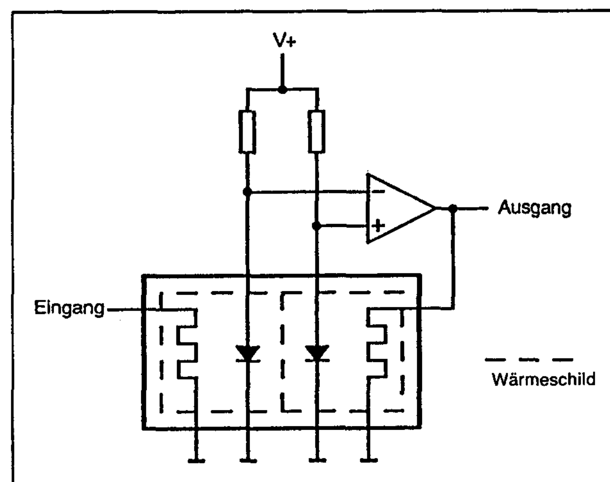
4.2 Type-beschrijving

delen die thermisch vermogen dissiperen, mogen niet in de omgeving van de LT1088 worden aangebracht. Het is absoluut verboden de LT1088 te voorzien van een koelplaatje!
Het maximaal vermogen dat in de chip gedissipeerd mag worden bedraagt 375 mW, met een piekbelasting van 475 mW gedurende 30 seconde. Deze gegevens gelden voor een omgevingstemperatuur van 25 °C en dalen met -3 mW/°C stijging van de omgevingstemperatuur.
De thermische tijdconstante van het IC zorgt voor een automatisch laagdoorlaat filter. Hoewel de onderste meetfrequentie ook gedeeltelijk bepaald wordt door de tijdconstante van de externe regelschakeling, zal men in de meeste gevallen bij frequenties van ongeveer 50 Hz merken dat het uitgangssignaal niet geheel vrij is van wisselspanningscomponenten.

Voorbeeld-schakelingen
- Figuur 11/4.2-32:

In deze figuur is de principiële toepassingsschakeling rond de LT1088 getekend. De twee dioden worden doorlopen door identieke stromen. Het linker verwarmingselement is aangesloten op de te meten wisselspanning. De twee diode-spanningen worden in een regelversterker met elkaar vergeleken. De regelversterker stuurt een stroom door het rechter verwarmingselement. De schakeling moet zo ontworpen worden, dat beide diodespanningen even groot zijn. Op de uitgang van de regelversterker staat dan een gelijkspanning waarvan de waarde gelijk is aan de effectieve waarde van de wisselspanning aan de ingang.
- Figuur 11/4.2-33:

Deze schakeling geeft de door de fabrikant voorgeschreven schakeling rond de LT1088. De met een sterretje aangeduide weerstanden zijn metaalfilm exemplaren. De met twee sterretjes aangegeven onderdelen verbeteren de instellingstijd van de schakeling. De asymmetrische eigenschappen van de sensor-dioden kunnen gecompenseerd worden met behulp van de instelpotentiometer van 500 Ω. Deze moet afgeregeld worden bij een ingangssignaal met een waarde die gelijk is aan een/tiende van de volle schaal waarde. De uitgangsversterker wordt aangesloten op een tweede instelpotentiometer (10 kΩ), waarmee de einde schaal waarde afgeregeld kan worden.
De schakeling van figuur 11/4.2-33 heeft de volgende eigenschappen:
- nauwkeurigheid:
  beter dan 2 % tot 100 MHz
- dynamisch bereik: 20/1
- tempco: 100 ppm/°C
- meetbare crest: 1/50
- 3 dB bandbreedte: 300 MHz
- insteltijd tot 1 % eindwaarde:
  500 ms
- maximale ingangsspanning:
  - 4,25 V op 50 Ω ingang
  - 9,5 V op 250 Ω ingang



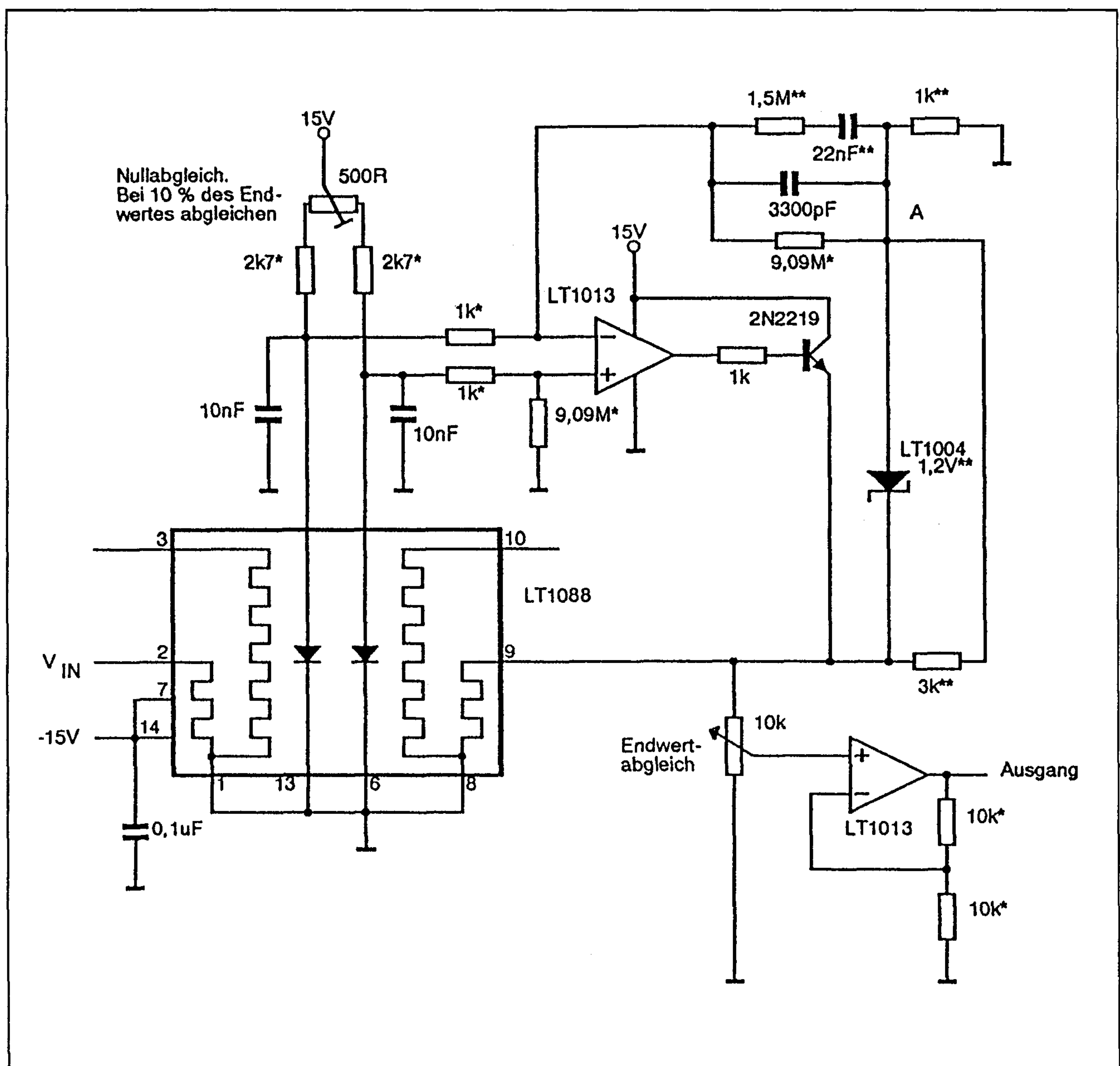
Figuur 11/4.2-32: Het blokschema van de externe schakeling rond de LT1088.

Als men, in plaats van de 50 Ω ingang, de 250 Ω ingang gebruikt, moet ook de terugkoppeling omgeschakeld worden van pen 9 naar pen 10.
- Figuur 11/4.2-34:

Een vrijwel identieke schakeling, waarbij echter de insteltijd met gemiddeld een factor tien gaat dalen. Dit wordt veroorzaakt door een "voorverwarming" van het systeem,

4.2 Type-beschrijving

waarvoor het niet-gebruikte ingangselement wordt gebruikt. Als vermogensdriver wordt gebruik gemaakt van een LT1010.
- Figuur 11/4.2-35:
Als de ingangsspanning niet belast mag worden met slechts 50 Ω of 250 Ω, moet men een breedbandige ingangsbuffer voorschakelen. In figuur 11/4.2-35 is een bruikbare discrete schakeling getekend, die volledig complementair van opbouw is. Deze schakeling heeft een stijgtijd van 2000 V/µs en een bandbreedte van 25 MHz bij aansturing van het 50 Ω element.

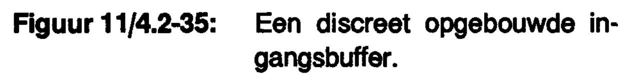


Figuur 11/4.2-33: Standaard schakeling rond de LT1088.

4.2 Type-beschrijving



Figuur 11/4.2-34: Schakeling met een kleinere insteltijd.



Figuur 11/4.2-35: Een discreet opgebouwde ingangsbuffer.